

**UNTERSUCHUNG ZUM EFFEKT DES
ÄUSSERLICH ANGEWANDTEN MAGNETFELDES
AUF DIE PERIPHERE DURCHBLUTUNG
BEI GESUNDEN PROBANDEN**

- Eine nicht randomisierte prospektive Beobachtungsstudie -

PETER KNAUER

1986



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554624_0012

Aus der Chirurgischen Klinik Innenstadt und Chirurgischen
Poliklinik der Universität München

Direktor : Prof. Dr. med. L. Schweiberer

Untersuchung zum Effekt des äußerlich angewandten Magnet-
feldes auf die periphere Durchblutung bei gesunden

Probanden

- Eine nicht randomisierte prospektive Beobachtungsstudie -

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität zu

München

vorgelegt von

Peter Knauer

aus

Hof an der Saale

Jahr

1986

Mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. F. Eitel
Mitberichterstatter: 1. Prof. Dr. med. L. Schweiberg
2. Prof. Dr. med. K. Thureau

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 20. November 1986

1. Einleitung
 - 1.1. Physiologie der Hautdurchblutung
2. Fragestellung
3. Material und Methodik
 - 3.1. Zielgrößendefinition
 - 3.1.1. Hauttemperatur
 - 3.1.2. Transcutaner Sauerstoffpartialdruck
 - 3.1.3. Heizleistung der Sauerstoffelektrode
 - 3.2. Einflußgrößendefinition
 - 3.3. Störgrößenabschätzung
 - 3.4. Probandenauswahl
 - 3.5. Versuchsaufbau und Ablauf
 - 3.6. Statistisches Testverfahren
4. Ergebnisse
 - 4.1. Ergebnisse des ersten Versuchsdurchganges
 - 4.1.1. Ergebnis der Temperaturmessung
 - 4.1.2. Ergebnis der Sauerstoffpartialdruckmessung
 - 4.1.3. Ergebnis der Heizleistungsmessung
 - 4.2. Ergebnisse des zweiten Versuchsdurchganges
 - 4.2.1. Ergebnis der Sauerstoffpartialdruckmessung
 - 4.2.2. Ergebnis der Heizleistungsmessung
5. Diskussion
 - 5.1. Zusammenfassung der Ergebnisse
 - 5.2. Kritik des Studiendesigns
 - 5.3. Kritik der Meßmethodik
 - 5.4. Ergebniskritik im Literaturvergleich
 - 5.5. Kritische Untersuchung der Literatur
 - 5.6. Schlußfolgerung

6. Literaturverzeichnis

7. Anhang

7.1. Rohdaten zum ersten Versuchsdurchgang

7.2. Rohdaten zum zweiten Versuchsdurchgang

7.3. Gerätebeschreibung

7.4. Probandenfragebogen

8. Zusammenfassung

Abkürzungsverzeichnis:

a	= Jahre
Abb.	= Abbildung
B	= Magnetische Induktion, 1 Tesla = 10^4 Gauss
Beh.	= Behandelte Seite
C	= °Celsius
EDV	= Elektronische Datenverarbeitung
H=Heat	= Heizleistung der Sauerstoffelektrode gemessen in mW
Hz	= Hertz
MF	= Magnetfeld
mmHg	= Millimeter Quecksilbersäule, 1 mmHg = 0.1333 kPa
MP	= Meßphase
MW	= Mittelwert
o.a.	= oben angegeben
SAW	= Standardabweichung
T	= Temperatur in Grad Celsius
t	= Zeit in Minuten
Tab.	= Tabelle
tcpO ₂	= transcutaner Sauerstoffpartialdruck
TOAB	= Oberarmtemperatur behandelte Seite
TOAU	= Oberarmtemperatur unbehandelte Seite
TUAB	= Unterarmtemperatur behandelte Seite
TUAU	= Unterarmtemperatur unbehandelte Seite

1. EINLEITUNG

Elektromagnetische Felder werden seit einiger Zeit zunehmend therapeutisch eingesetzt. Die Wirksamkeit soll sich von der Hemmung des Wachstums maligner Tumoren (Lenzi (28), Mulay (31), Pereira (36)), bis zur Verbesserung der Knochenregeneration erstrecken. Degenerative Knochenerkrankungen, die Knochenbruch- und Pseudarthrosenheilung (Kraus, Lechner (25), Basset (3), Haimovici (15, 16)) sollen beeinflusst werden. Auch über eine Verbesserung der Durchblutung wird berichtet (Lau (27), Warnke (43, 44, 45, 46)).

Die Wirksamkeit niederfrequenter elektromagnetischer Felder wird nach wie vor diskutiert.

Knahr und Dutter (24) konnten keinen statistisch relevanten Einfluß auf das Wachstum maligner Geschwülste im Tierversuch bestätigen. Eine Expertenkommission, die sich im Februar 1975 mit dem Thema "Beeinflussung der Knochenbildung durch elektromagnetische Potentiale" befaßte, kam zu dem Ergebnis, daß bisherige Tierversuche und die Anwendung am Menschen noch keinen schlüssigen Beweis erbracht hätten, für die Wirksamkeit der Gleichstrom-, Wechselstrom-, oder Magnetfeldbehandlung in Gestalt eines spezifischen Effektes auf die Osteogenese (32). Blümlein (4) und Enzler (11) konnten ebenfalls keine verbesserte Pseudarthrosenheilung mit Hilfe elektromagnetischer Felder nachweisen.

Auf der einen Seite ist die Magnetfeldbehandlung als Verfahren in der Praxis abrechenbar, auf der anderen Seite behaupten Grundlagenforscher die Unwirksamkeit. Dies gibt Anlaß zu einer experimentellen Überprüfung. Kontrolliert werden sollen in der Literatur vorzufindende Untersuchungen hinsichtlich der Einflußnahme von niederfrequent gepulsten elektromagnetischen Feldern auf die periphere Durchblutung.

1.1. PHYSIOLOGIE DER HAUTDURCHBLUTUNG

Unter physiologischen Bedingungen ist die Durchblutung der Haut eng an die Regelung der Körpertemperatur und an lokale metabolische Bedürfnisse gebunden. Aus diesem Grund verfügt die Haut über eine hohe Kapillardichte, sowie zahlreiche arterio-venöse Anastomosen (Abb. 1 und 2). Die Dichte der oberflächlichen Kapillaren (Abb. 3) variiert zwischen 16 und 65 pro mm^2 (20); die physiologische Spannweite der kapillaren Perfusion reicht beim Gesunden durchschnittlich von ca. 15 bis 180 $\text{ml}/100 \text{ g Haut} \times \text{Minute}$. Am Finger ist die Variabilität der Durchblutung mit minimal unter 0.2 bis maximal über 120 $\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3 \text{ Gewebe} \times \text{Minute}$ besonders groß (1).

Silver (41) konnte durch Implantation von Mikroelektroden in die Basalzellschicht der Epidermis des menschlichen Unterarms nachweisen, daß dort ein Sauerstoffdruck von ungefähr 20 mm Hg herrscht; zwei Minuten nach Okklusion der Gefäße fiel der Sauerstoffpartialdruck auf Null ab.

Durch die geringe Dicke der Haut, die im Bereich der Felderhaut 0.04 bis 0.2 mm, in Hohlhand und Fußsohle 0.75 bis 1.2 mm, in Schwielen 2 mm und mehr beträgt (29), können somit Änderungen der Durchblutung in der Epidermis mittels einer Temperatursonde oder einer transcutanen Sauerstoffelektrode von außen indirekt erfaßt werden.

Ein Überblick über die verschiedenen Einflußmöglichkeiten auf den Tonus der Hautgefäße ist in der Abbildung 4 dargestellt.

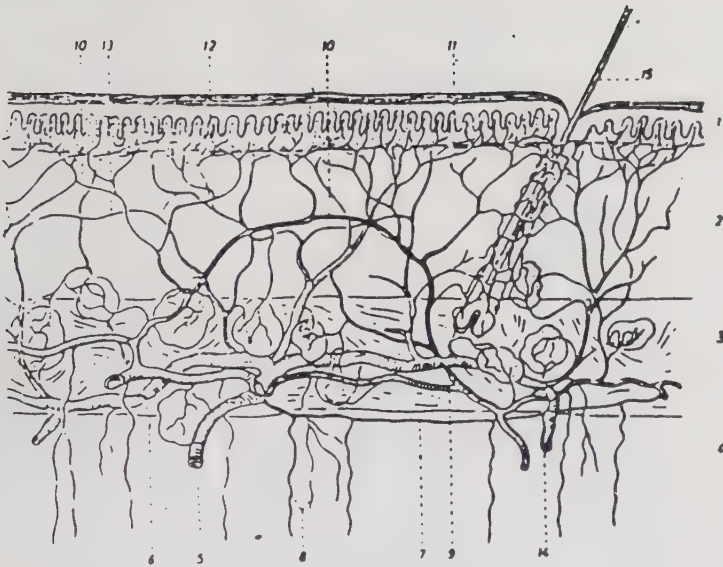


Abb.1: Blutversorgung der Haut

1, Epidermis und str. papillare; 2, Dermis (obere Schicht mit subpapillarem Arterienplexus, 11); 3, Dermis (untere Schicht: Gefäße, Schweißdrüsen, Talgdrüsen); 4, Subcutis; 5, Arterie von der Subcutis aufsteigend; 6, große Arterie und Vene des subdermalen Plexus; 7, horizontale dünne Arterie des Hautnetzes; 8, Gefäßversorgung der subcutanen Fettläppchen; 9, aufsteigend Arterienarkade; 10, bogenförmige Verbindung der aufsteigenden Arterien; 11, Papillargefäße; 12, 13, venöser Plexus; 14, venöser Abfluß; 15, Haarfollikel mit Gefäßversorgung. (9)

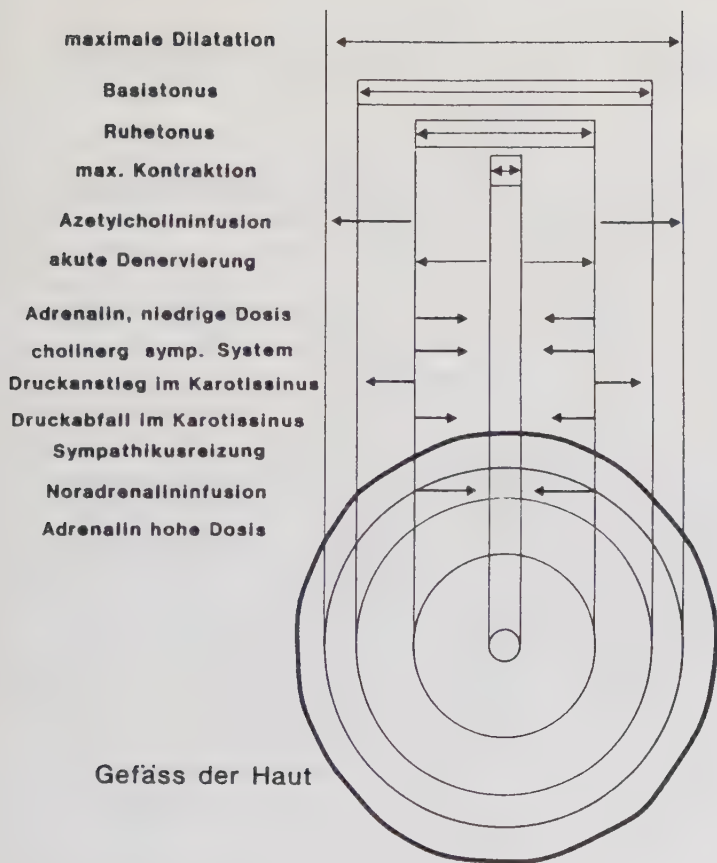


Abb. 4: Einflüsse auf den Tonus der Hautgefäße nach
(39)

2. ZIELSETZUNG

Ziel dieser Studie war, mittels einer standardisierten Untersuchungsmethodik, die nicht darauf abgerichtet ist möglichst minimale Unterschiede aufzudecken, sondern die Unterschiede registriert, die über dem Bereich der momentanen Durchblutungsmodulation liegen, unter kontrollierten Bedingungen zu prüfen, ob ein mit einem handelsüblichen Therapiegerät erzeugtes, niederfrequent gepulstes, elektromagnetisches Feld unter physiologischen Bedingungen (wie sie sich in unterschiedlichen Behandlungssituationen ergeben können) die periphere Durchblutung verändert. Die Größe eines eventuellen Unterschiedes sollte als Grundlage für die Fallzahlschätzung einer kontrollierten klinischen Studie herangezogen werden. Diese Studie ist mit einer Phase I Studie (5) aus der Arzneimittelpfprüfung vergleichbar. Die Prüfung der physiologischen Wirksamkeit der Magnetfeldtherapie erfolgt üblicherweise an einigen wenigen Probanden, die keinen repräsentativen Querschnitt der Grundgesamtheit darstellen müssen.

3. MATERIAL UND METHODIK

3.1. ZIELGRÖßENDEFINITION

3.1.1. HAUTTEMPERATUR

Die Oberflächentemperatur wurde jeweils an der Fingerbeere des rechten und linken Mittelfingers (D III), in der Mitte des rechten und linken Unterarms volar und an beiden Oberarmen am Ende des proximalen Drittels lateral gemessen. Dazu wurden knopfförmige Temperatursonden mit einem Pflasterstreifen auf der Fingerbeere angebracht; speziell wurde darauf geachtet, daß die Fingerbeere nicht komprimiert wurde. Die Meßdaten wurden mit Hilfe eines Computers alle 30 Sekunden abgerufen und aufgezeichnet.

Zusätzlich wurde die Körpertemperatur (axillar), die Raumtemperatur und die Temperatur im Inneren der Magnetfeldspule registriert. Da die Messungen des 1. Versuchsdurchganges in der Zeit vom 17. August bis zum 7. Oktober 1983 durchgeführt wurden, hängt die Raumtemperatur überwiegend von der Außentemperatur ab (noch keine Heizperiode).

Das Auflösungsvermögen des Temperaturmeßgerätes lag bei 0.2 Grad Celsius. Eine Gerätebeschreibung ist im Anhang zu finden.

Einen Zusammenhang zwischen Hauttemperatur und Durchblutung der Hand in Abhängigkeit von der Raumtemperatur gibt Abbildung 5 und 6 wieder.

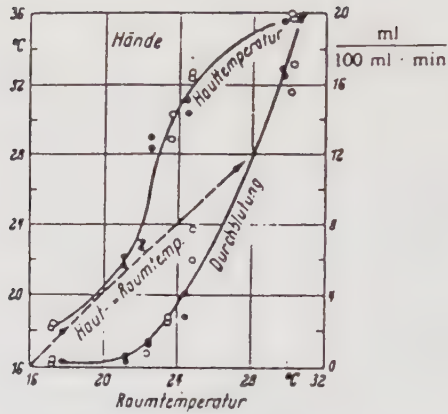


Abb. 5: Hauttemperatur und Durchblutung der Hand in Abhängigkeit von der Raumtemperatur (zwei Bekleidete: o, ●) nach (1, 13)

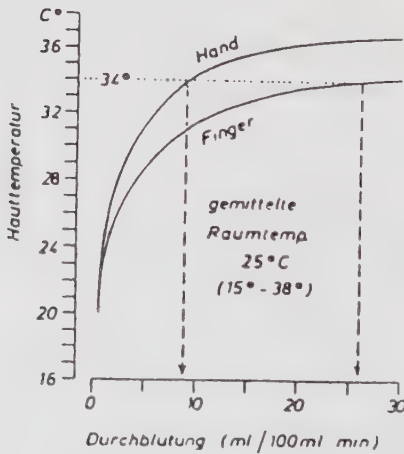


Abb. 6: Hauttemperatur der Hand und des Fingers in Abhängigkeit von der Durchblutung nach (2)

3.1.2. TRANSCUTANE SAUERSTOFFMESSUNG

Auf Grund der Tatsache, daß Sauerstoff durch die Haut diffundiert, kann man mit elektrochemischen Meßelektroden transcutane Sauerstoffmessungen durchführen. Der gemessene Sauerstoffwert hängt im wesentlichen von der Oxygenisierung des Blutes und von der momentanen Durchblutungssituation ab (Abb. 7). Bleibt die Oxygenisierung des Blutes konstant, so ist die transcutane Sauerstoffspannung hauptsächlich von der lokalen Durchblutung abhängig. Um eine bessere Ankoppelung der Sauerstoffmessung zu erreichen, wird das Hautareal unter der Meßelektrode durch dosierbare Hyperthermie arterialisiert. Die notwendige Hyperämie wird durch kontrollierte Beheizung der Sauerstoffelektrode erreicht. Die Messungen wurden mit einem Sauerstoffmonitor der Firma Radiometer (TCM-2) durchgeführt. Das Konzept des TCM-2 basiert auf einem Mikrocomputersystem, in dem alle mit der Sauerstoffelektrode gemessenen Daten gesammelt und verarbeitet werden, ehe sie zu einem Ausgabegerät (Schreiber, Bandspeichergerät, EDV-Anlage) weitergeleitet werden und an den LCD-Displays erscheinen. Der eingebaute Mikroprozessor führt eine Einpunkt-Eichung auf einen vorgegebenen Wert (Raumluft bei aktuellem Luftdruck) automatisch durch und überprüft gleichzeitig die Elektrodenheizung während der Eichung (Abb. 8).

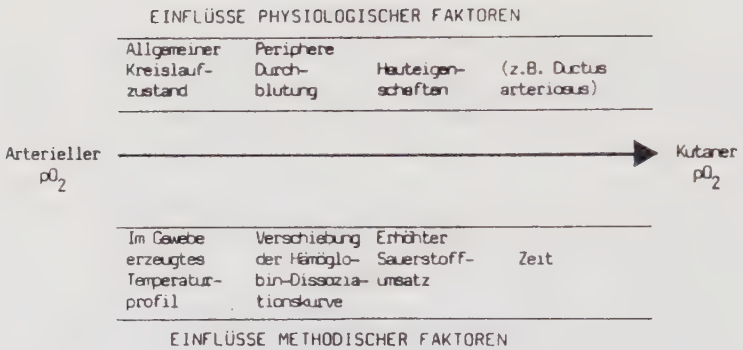


Abb. 7: Einflüsse auf den kutanen Sauerstoffpartialdruck nach (33)

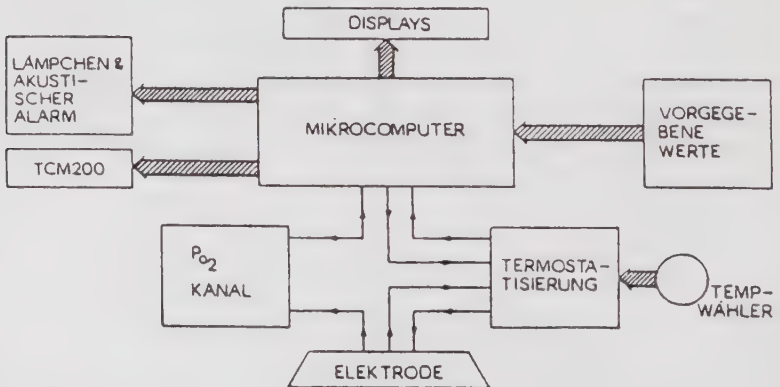


Abb. 8: Blockschaltbild des TCM2 Sauerstoffmeßgerätes (34)

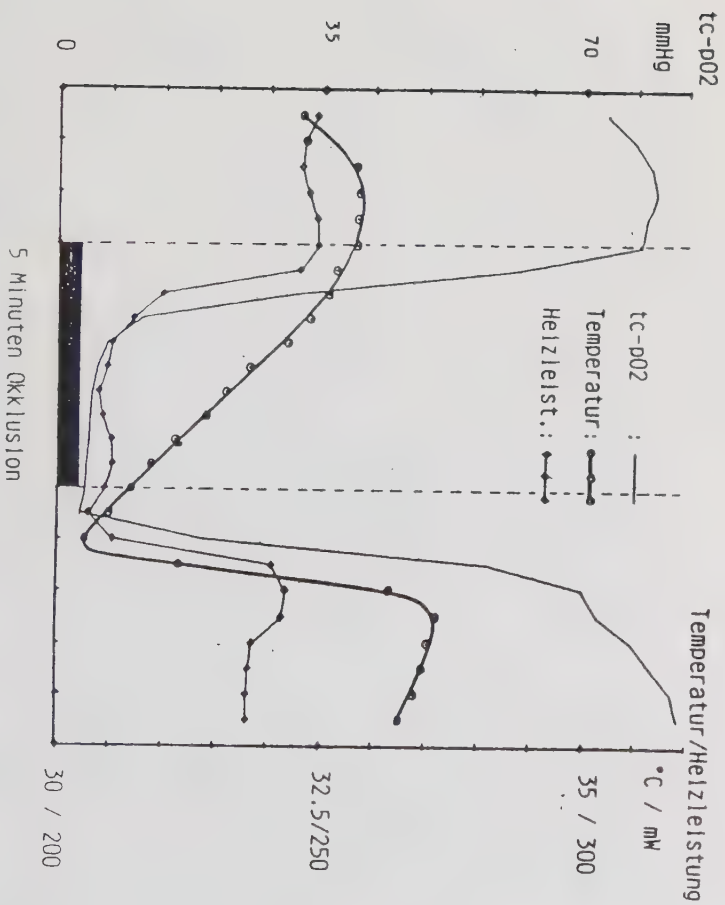


Abb. 9: tc-pO₂, Heizleistungs- und Fingertemperaturverlauf bei Okklusion (Dauer 5 Minuten) am Oberarm.

Vorversuche haben gezeigt, daß der transcutan gemessene Sauerstoffpartialdruck einen praktikablen Indikator für die Erfassung der Durchblutung darstellt. Dabei wurde am Oberarm mit Hilfe einer Blutdruckmanschette eine Unterbrechung der Blutzufuhr vorgenommen. Während der Okklusion sank der Sauerstoffpartialdruck an der Meßstelle, die sich am Unterarm befand, rapide ab. Nach Öffnung der Blutsperre stieg der Sauerstoffpartialdruck infolge der reaktiven Hyperämie über den unter normalen Bedingungen gemessenen Wert an und fiel dann wieder auf den Ausgangspunkt zurück. Abbildung 9 zeigt den Verlauf der Fingertemperatur, des transcutanen Sauerstoffdrucks und der Heizleistung der Sauerstoffelektrode während eines Okklusionsversuchs.

Die Messung des transcutanen Sauerstoffpartialdrucks kann bei Elektrodentemperaturen von 37 bis 46 Grad Celsius erfolgen. Die aus Platin und Silber bestehende Sauerstoffelektrode (Abb. 10) ist mit einer sauerstoffdurchlässigen hydrophoben Membran überzogen. Im Inneren der Elektrode befindet sich Phosphatpuffer und Kaliumchlorid. Legt man an die Platin-kathode eine Spannung von 630 mV an, so wird an der Kathode ein dem Sauerstoffpartialdruck proportionaler Strom erzeugt. In der Silberanode befindet sich ein Heizelement und ein NTC-Widerstand um die Temperatur der Elektrode zu messen und zu kontrollieren. Die von dem Heizelement erzeugte Wärme wird über die Silberanode durch eine Abstandsscheibe und die Membran auf die Hautoberfläche übertragen (Abb. 11).

Bei der Wahl der Meßstelle gibt der Hersteller des Gerätes an, optimale Bedingungen seien dann erreicht, wenn man in Hautarealen mit großer Kapillardichte, reichlicher Kapillardurchblutung, dünner Hornschicht und geringem subcutanem Fettgewebe mißt. Als Meßstelle wurde die Ventralseite des rechten und linken Unterarmes ausgewählt, da andere Meßstellen, wie zum Beispiel der Handrücken oder die Palmarfläche,

auf Grund zu niedriger Messwerte für die Messung nicht in Frage kamen. Außerdem lösten sich dort teilweise bei Bewegung oder wegen Schweissnässe die Fixierringe.

Zur optimalen Fixierung der Kleberringe für die Sauerstoffelektrode war es unerlässlich, die betreffende Hautpartie zu rasieren und anschließend gründlich mit 70 prozentigem Isopropylalkohol von Fett und Unreinheiten zu beseitigen. Durch zusätzliches Andrücken und Abziehen eines Pflasterstreifens wurden noch die oberflächlichsten Hornlamellen entfernt, um möglichst ideale Diffusionsbedingungen für die Sauerstoffmessung zu schaffen. Nach Anbringung der Fixierringe und Eintropfung der Kontaktlösung wurde die Sauerstoffelektrode eingeschraubt. Die Sauerstoffanzeige am Meßgerät wurde nach ca. 30 bis 40 Minuten stabil.

Die Messung des Sauerstoffpartialdrucks erfolgte während der ersten Versuchsreihe bei einer Elektrodentemperatur von 37 Grad Celsius.

Bei der zweiten Studie wurde die Elektrodentemperatur auf 42 Grad Celsius erhöht, um die Empfindlichkeit zu erhöhen und um eventuelle Änderungen des Sauerstoffpartialdrucks besser erfassen zu können.

Die Meßgenauigkeit betrug 1 mm Hg.

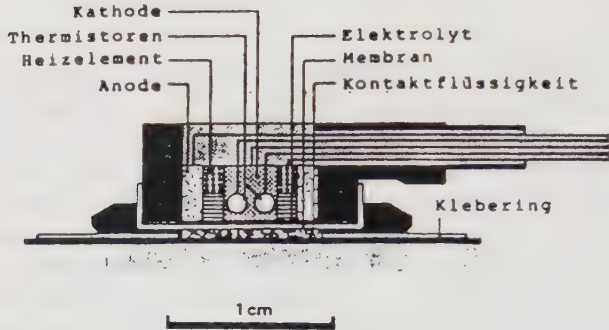


Abb. 10: Querschnitt durch eine tc-pO₂-Elektrode (34)

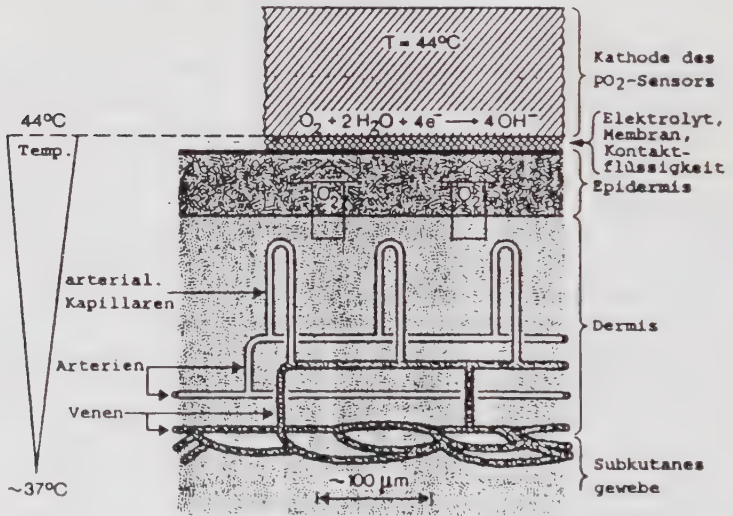


Abb. 11: Prinzip der tc-pO₂-Messung (33)

3.1.3. HEIZLEISTUNG DER SAUERSTOFFELEKTRODE

Auf Grund der hohen Wärmeleitfähigkeit der Silberanode spricht der darin enthaltene NTC-Widerstand auf Temperaturänderungen, die mit einer Änderung der Durchblutung einhergehen, an der Meßstelle rasch an. Somit stellt eine Änderung im Wärmeverbrauch der Sauerstoffelektrode (Heat) eine Änderung der lokalen Perfusion dar (21, 22).

Der o.a. Okklusionsversuch hat gezeigt, daß bei verminderter oder unterbrochener Durchblutung die Heizleistung abnimmt, da weniger Wärme von der Elektrode wegtransportiert wird. Umgekehrt wurde bei der reaktiven Hyperämie mehr Wärme zugeführt (Abb. 9).

3.2. EINFLUSSGRÖßENDEFINITION

Der Impulsgenerator wird mit einer Wechselspannung von 220 Volt und 50 Hz betrieben; ergibt eine Stromstärke von bis zu 3.6 Ampere an die Spule ab.

Mit dem Impulsgenerator und der Feldspule sollen laut Hersteller Feldstärken von 1 bis 100 Gauss und Impulsfrequenzen von 1 bis 50 Hz stufenlos in jeder beliebigen Kombination erreicht werden.

Es kann zwischen manueller und vorprogrammierter Einstellung gewählt werden. Für periphere Durchblutungsstörungen empfiehlt der Hersteller eine Intensität von 40 Gauss und eine Frequenz von 12 Hz.

Die Magnetfeldspule hat einen Innendurchmesser von 49 cm und eine Länge von 30 cm.

Eine Untersuchung des verwendeten Magnetfeldgerätes hinsichtlich zeitlichem Verlauf und räumlicher Verteilung des vom Gerät in der Spule und deren Umgebung erzeugten Magnetfeldes, sowie Übereinstimmung der Skalanzeige des Impulsgenerators mit den tatsächlich gemessenen Werten kam zu folgenden Ergebnissen (40):

"Die Verteilung des Magnetfeldes in einer durch Spulendurchmesser und Spulenlängsachse definierten Ebene zeigt Abbildung 13. Die gestrichelt eingezeichneten Linien stellen Feldlinien der magnetischen Kraftflußdichte B dar, die, der Übersichtlichkeit wegen, für $B = 2.4 \text{ mT}$ eingezeichnet sind. Verbindungslinien gleichartiger Symbole markieren den Verlauf konstanter Flußdichtewerte.

Der zeitliche Verlauf der Flußdichte ist durch eine Folge von Paketen aus phasenangeschnittenen Halbsinusschwingungen gegeben, deren Anzahl pro Paket und zeitliche Abfolge durch das Bedienorgan "Frequenz", deren Maximalwert durch das Bedienorgan "Intensität" beeinflussbar sind. (Vgl. Abb. 12 und Tab.1). Die Abweichung zwischen gemessenen Parametern des Magnetfeldes und der Ziffernanzeige am Gerät geht aus Tab.1 und Tab.2 hervor.

Fazit:

Aus der Intensitätsangabe auf dem Gerät (in der veralteten Form Gauß) ist nicht ersichtlich, ob es sich um Scheitel- oder Mittelwerte handelt. Die angegebenen Meßwerte sind Scheitelwerte. Die großen Unterschiede zwischen gemessenen und angezeigten Werten einerseits und die starke Ortsabhängigkeit (vgl. Abb.13) der Flußdichte andererseits machen die reproduzierbare Einstellung einer gewünschten Intensität an der behandelten Körperstelle des Patienten unmöglich. Die Digitalanzeige mit 1%iger Auflösung ist so gesehen sinnlos

und täuscht eine nicht vorhandene Präzision vor.

Auch die Angabe Frequenz ist nicht näher erläutert. Sinnvollerweise ist darunter wohl die Folgefrequenz der Impulspakete zu verstehen. Hierbei fällt auf, daß innerhalb bestimmter Frequenzbereiche (z.B. 40Hz bis 50Hz) unterschiedliche Frequenzeinstellungen gleiche Impulsmuster liefern, sodaß insgesamt nur 10 Varianten möglich sind, die sich wiederum zu zwei Gruppen zusammenfassen lassen:

Gruppe 1Hz mit 39Hz liefert im Mittel 25 Impulse pro Sekunde, wobei nur Paketlänge und Pausendauer unterschiedlich sind.

Gruppe 40Hz mit 50Hz liefert einheitlich 50 Impulse pro Minute.

Auch hier täuscht also die Anzeige eine tatsächlich nicht vorhandene Vielfalt und Präzision vor.

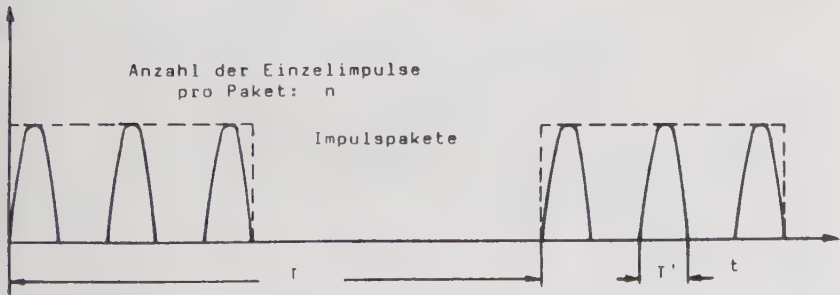


Abb. 12: Zeitlicher Verlauf der Flußdichte (40)

Frequenz- anzeige am DUOMAG Hz	n	T m sek	Mittelwert n/sek.
1	25	1000	25
2	12	480	'
3	8	320	'
4	6	240	'
5	5	200	'
6	4	160	'
7	4	160	'
8	3	120	'
9	3	120	'
10	3	120	'
11	2	80	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
19	2	80	'
20	1	40	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
39	1	40	25
40	1	20	50
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
'	'	'	'
50	1	2	50

Tabelle 1: Impulsbild abhängig von Frequenzeinstellung
(vgl. Abb. 12), n = Anzahl der Einzelimpulse
pro Paket (40)

B Anzeige DUOMAG Gauß	$\hat{\theta}_{\text{gemessen}}$ $\hat{\theta}_{\text{gem. Mitte}}$ %	T' msek
100	100	8
80	78	6,8
60	52	5,6
40	30	4,4
20	15	3
10	7	2

Tabelle 2: Flußdichte $\hat{\theta}$ und Dauer des Einzelimpulses abhängig von Anzeige:
"Intensität"
(vgl. Abb. 12; gemessen bei Einstellung "Frequenz" 50 Hz;
 $\theta_{\text{gem Mitte}} = 4 \text{ mT}$)

(40)

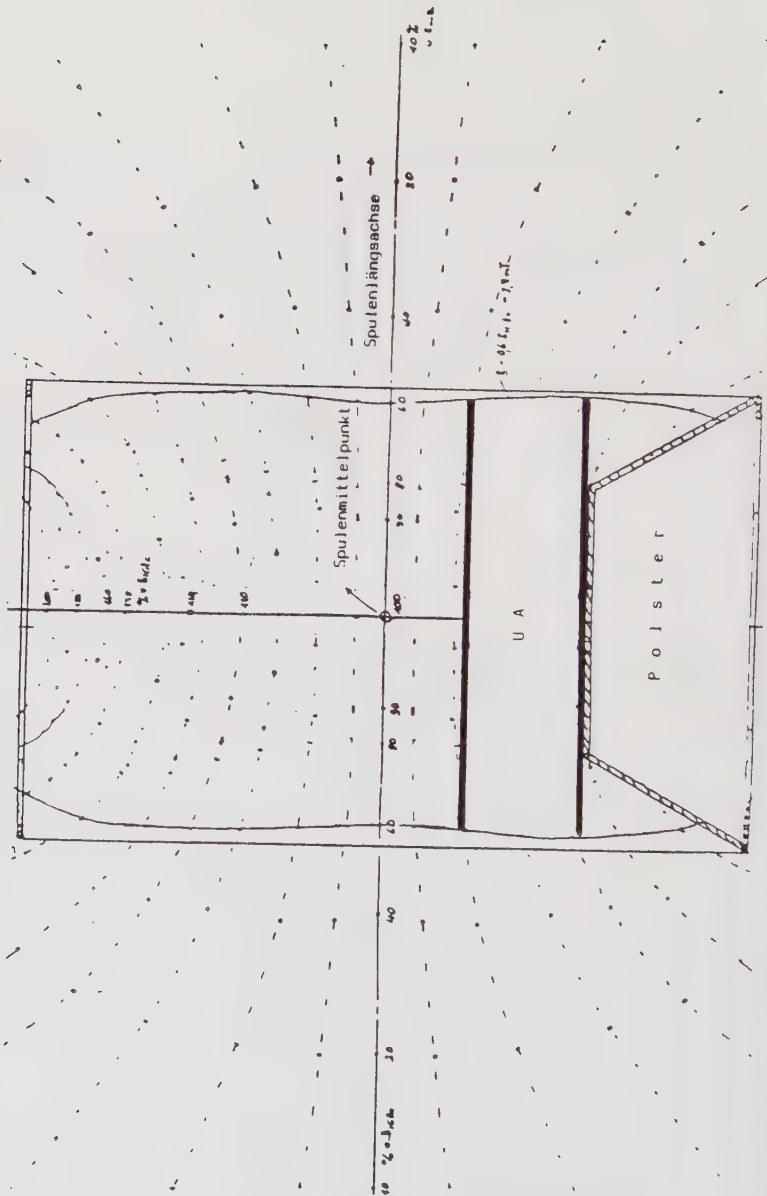


Abb. 13: Örtliche Verteilung der Flußdichte B ,
 $B_{\text{Mitte}} = 4 \text{ m T (40 Gauß)}$

(40)

Eine Untersuchung von Hiss und Hasenpflug (18, 19) hinsichtlich der elektrischen Funktion von handelsüblichen Magnetfeldtherapiegeräten bestätigt obengenannte Ergebnisse. Die Autoren untersuchten vier typische Magnetfeldtherapiegeräte in Bezug auf die Vergleichbarkeit des erzeugten Magnetfeldes, des induzierten Stroms und der einstellbaren Variablen, Frequenz und Feldstärke. Tabelle 3 gibt eine Zusammenfassung der Ergebnisse von Hiss und Hasenpflug wieder.

Eigenschaften	Gerät A	Gerät B	Gerät C	Gerät D
Spitzen-feldstärken (Gauß) Ist/Soil	14/2	70/1000	50/100	67/100
Frequenz	burst getaktet	Rechteck Takt 1:1	Sinusfolge getaktet	Sinus
Feldrichtung	gleich	gleich	gleich	wechselnd
Induktionsspannung	Nadelimpuls	undef.	Sinusabschnitte	Sinus
Gegenseitige Beeinflussung Frequenz-mittlere Feldstärke	Nein	Ja	Ja	einstellbar
Oberwellenanregung	stark	stark	mäßig	keine
Datentreue Frequenz-Feldstärke	nicht festlegbar	schlecht	mäßig	befriedigend

Tab. 3.: Ergebnisse der Untersuchung verschiedener Magnetfeldtherapiegeräte von Hiss und Hasenpflug (19)

3.3. STÖRGRÖßENABSCHÄTZUNG

Um den Einfluß der psychosomatischen Reaktion seitens des Probanden, wie Angst, Schmerz, Nervosität, im Falle einer invasiven Untersuchung möglichst in engem Rahmen zu halten, wurde die periphere Durchblutung nichtinvasiv mit den Parametern Oberflächentemperatur, transcutaner Sauerstoffpartialdruck und Heizleistung der tcpO_2 -Elektrode indirekt gemessen. Die äußeren Versuchsbedingungen wie Tageszeit und Raumtemperatur wurden kontrolliert gehalten und jeweils mit aufgezeichnet. Die Versuchsreihe wurde im Seitenvergleich und als Blindversuch durchgeführt:

Die Probanden wußten während der Versuchsdurchführung nicht, zu welchem Zeitpunkt, oder ob überhaupt das elektromagnetische Feld in Betrieb war. Alle Meßparameter wurden simultan jeweils von der rechten und linken oberen Extremität aufgezeichnet.

Die Versuchsdurchführungen fanden an unterschiedlichen Tagen statt. Die bei den jeweiligen Versuchsdurchgängen gemessenen Raumtemperatur hing in erster Linie von der Außentemperatur ab, da die Untersuchung außerhalb der Heizperiode stattfand. Die Raumtemperatur während eines Meßdurchganges blieb allerdings konstant.

Eine Messung des Blutdruckes nach Riva-Rocci erfolgte zu Beginn und am Ende der Untersuchung, um Probanden mit pathologischen Blutdruckwerten von vorne herein auszuschließen und zur Kontrolle, ob eine Blutdruckänderung während der Versuchsphase eingetreten war. Zusätzlich wurde ein Elektrokardiogramm abgeleitet. Es diente in erster Linie zur Erfassung der Herzfrequenz und zum Ausschluß pathologischer Veränderungen.

In einer zweiten Versuchsserie wurde der Versuchsablauf insofern abgeändert, als auf eine Temperaturmessung verzichtet wurde.

3.4. PROBANDENAUSWAHL

Das Probandenkollektiv bestand aus gesunden Versuchspersonen (Studenten, wissenschaftliche Angestellte der Universität), die alle freiwillig und unentgeltlich an der Versuchsreihe teilnahmen. Vor Versuchsbeginn wurden die Probanden einer orientierenden körperlichen Untersuchung unterzogen. Die Ausschlußkriterien sind den im Anhang befindlichen Probandenfragebogen zu entnehmen, der von allen Versuchsteilnehmern vor Beginn der Untersuchung beantwortet werden mußte.

Die Probanden wurden angehalten vier Stunden vor Versuchsbeginn nicht mehr zu rauchen und 12 Stunden vorher keine alkoholischen Getränke oder sonstigen Rauschmittel zu sich zu nehmen.

Das Probandenkollektiv der beiden Versuchsreihen setzte sich wie folgt zusammen:

Mittelwert	männlich n = 9	weiblich n = 7
Körper- größe	178.9 cm (173 cm - 186 cm)	164.7 cm (156 cm - 170 cm)
Körper- gewicht	77.0 kg (65 kg - 85 kg)	56.1 kg (48 kg - 64 kg)
Alter	25.8 a (20 a - 31 a)	23 a (22 a - 25 a)

Tab.4 : Probandenkollektiv des ersten Versuchsdurchgangs

Mittelwert	männlich n = 4	weiblich n = 6
Körper- größe	184 cm (174 cm - 190 cm)	165.2 cm (160 cm - 170 cm)
Körper- gewicht	71.0 kg (68 kg - 75 kg)	59.5 kg (52 kg - 64 kg)
Alter	28 a (26 a - 31 a)	24.2 a (22 a - 27 a)

Tab.5 : Probandenkollektiv des zweiten Versuchsdurchgangs

3.5. VERSUCHSAUFBAU UND ABLAUF

Die Untersuchung wurde am auf dem Rücken liegenden Probanden durchgeführt. Die Versuchspersonen wurden gebeten, sich möglichst nicht zu bewegen. Um zu verhindern, daß die Inbetriebnahme des Magnetfeldes akustisch wahrgenommen werden konnte (ein der Impulsfrequenz synchrones Ticken), wurde der äußere Gehörgang der Probanden mit Ohropax verschlossen. Zusätzlich wurde über einen Radiorecorder Musik in Zimmerlautstärke eingespielt, um von dem von der Meßeinrichtung verursachten Geräuschpegel abzulenken.

Nach Anbringung aller Meßelemente und Messung des Blutdrucks im Liegen wurde mit dem Beginn des Versuchs solange gewartet, bis sich alle Variablen im steady state befanden (ca. 40

min). Studie 1 lief nach folgendem Schema ab (Abb. 14) :

- Meßphase 1: 10 Minuten Registrierung aller Variablen
- Meßphase 2: 10 Minuten Registrierung aller Variablen unter Magnetfeldeinfluß (40 Gauss, 12 Hz)
- Meßphase 3: 20 Minuten Registrierung aller Variablen
- Meßphase 4: 10 Minuten Registrierung aller Variablen unter Magnetfeldeinfluß (100 Gauss, 50 Hz)
- Meßphase 5: 10 Minuten Registrierung aller Variablen.

Temperatur, transcutaner Sauerstoffpartialdruck und die Heizleistung der Sauerstoffelektrode wurde alle 30 Sekunden aufgezeichnet.

Das Magnetfeld wurde in der ersten Studie in 15 Fällen am rechten und in 6 Fällen am linken Unterarm appliziert.

In der zweiten Studie wurde das Versuchsschema folgendermaßen verändert (Abb. 15) :

- 5 Minuten Registrierung aller Variablen ohne Magnetfeldeinfluß
- 5 Minuten Registrierung aller Variablen unter Magnetfeldeinfluß (40 Gauss, 12 Hz)

Ein Versuch dauerte 55 Minuten, sodaß jeweils 11 Meßphasen resultierten. Der transcutane Sauerstoffpartialdruck und die Heizleistung wurden alle 30 Sekunden registriert.

Auf eine Temperaturmessung wurde im zweiten Versuchsdurchgang verzichtet.

Das Magnetfeld wurde nur am rechten Arm appliziert.

VERSUCHSABLAUF DES ERSTEN VERSUCHSDURCHGANGES

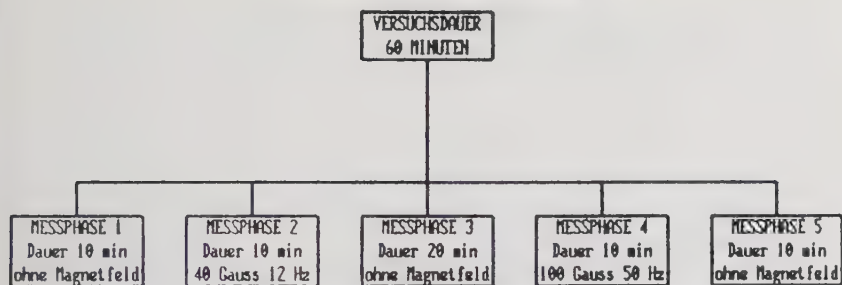


Abb. 14: Versuchsablauf des ersten Versuchsdurchganges

VERSUCHSABLAUF DES ZWEITEN VERSUCHSDURCHGANGES

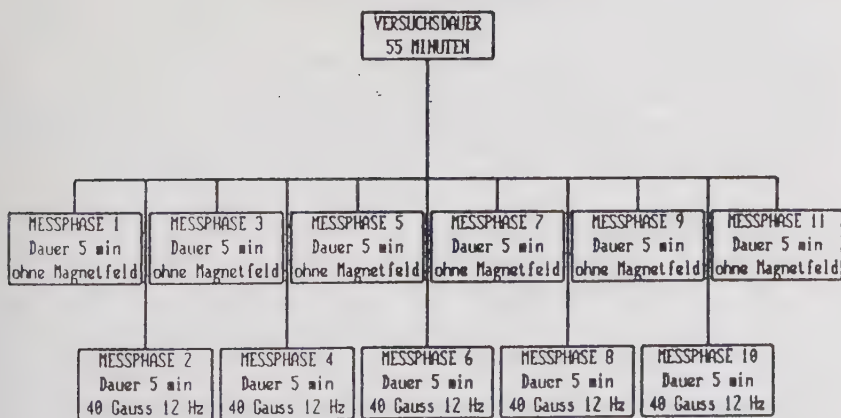


Abb. 15: Versuchsablauf des zweiten Versuchsdurchganges

3.6. STATISTISCHES TESTVERFAHREN

Folgende Hypothesen liegen dem statistischen Test zugrunde:

H_0 : Das Magnetfeld ändert die definierten Zielgrößen nicht (Nullhypothese).

H_1 : Das Magnetfeld ändert die definierten Zielgrößen (Alternativhypothese).

Als Testgröße wurde der arithmetische Mittelwert aus den Einzelmeßdaten der verschiedenen Meßphasen gewählt.

Zur Feststellung der Frage, ob sich die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Meßphasen signifikant unterscheiden, wurde als effizientester Test der t-Test für abhängige Werte angewandt. Die Anwendbarkeit dieses Testverfahrens wurde durch den Kolmogoroff-Smirnoff-Test (Prüfung der Paardifferenzen auf Normalverteilung) bestätigt. Median und arithmetisches Mittel fielen zusammen.

Da unbekannt war, auf welche Weise das Magnetfeld Einfluß auf die Meßwerte nimmt, mußte zweiseitig getestet werden. Als Irrtumswahrscheinlichkeit alpha wurde der Wert $\alpha = 0.05$ (= 10% beidseits) angenommen. Somit war sichergestellt, daß bereits relativ geringe Differenzen der Mittelwerte zum Verwerfen der Nullhypothese führen konnten.

Die Berechnung der Prüfgröße für den t-Test erfolgte nach folgender Gleichung (38):

$$\hat{t} = \frac{\bar{d}}{s_d} = \frac{(\sum d_i)/n}{\sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2/n}{n(n-1)}}} \quad \text{FG} = n - 1$$

$d_i = x_i - y_i$ (Paardifferenz)

n = Anzahl der Paardifferenzen

FG = Anzahl der Freiheitsgrade

Die Nullhypothese wird verworfen, wenn der errechnete Wert t größer ist, als der Tabellenwert für n ($n = 16$ für den ersten Versuchsdurchgang und $n = 9$ für den zweiten Versuchsdurchgang).

Folgende Vergleiche wurden jeweils für Temperatur (nur im ersten Versuchsdurchgang), Heizleistung und Sauerstoffpartialdruck durchgeführt:

1. Vergleich der arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Meßphasen einer Seite;
2. Vergleich der arithmetischen Mittelwerte der gleichen Meßphasen der behandelten und unbehandelten Seite.

Auf Grund mehrfacher Testung am gleichen Datenmaterial ohne Veränderung der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 10\%$, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese zu verwerfen; d.h. die Anzahl der Tests, die einen signifikanten Unterschied ergeben, kann größer sein, als dies wirklich der Fall wäre.

4. ERGEBNISSE

Die in festen Zeitintervallen aufgenommenen Meßdaten der beiden Versuchsdurchgänge wurden graphisch in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt (s. Anhang) und einem statistischen Testverfahren unterworfen.

Für alle Meßphasen der beiden Versuchsdurchgänge wurden der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der jeweiligen Parameter berechnet und tabellarisch aufgezeichnet (s. Anhang).

Die Ergebnisse des Testverfahrens sind für den ersten Versuchsdurchgang den Tabellen 6 und 7, die des Versuchsdurchganges den Tabellen 8 und 9 zu entnehmen.

MP	:	TEMP		:	HEAT		:	TCPO ₂		:			
	:	beh.	:	unbeh.	:	beh.	:	unbeh.	:	beh.	:	unbeh.	:

1 - 2	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-	:

2 - 3	:	+	:	+	:	-	:	-	:	-	:	-	:

3 - 4	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-	:

4 - 5	:	-	:	-	:	+	:	-	:	-	:	-	:

1 - 3	:	+	:	+	:	-	:	-	:	-	:	-	:

3 - 5	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-	:	-	:

1 - 5	:	-	:	+	:	-	:	-	:	-	:	-	:

Tab.6: Vergleich der Meßphasen jeweils einer Seite, t-Test, $\alpha = 10\%$, + = signifikante Änderung, - = keine signifikante Änderung.

MP	:	TEMP	:	HEAT	:	TCPO ₂	:

1	:	-	:	-	:	-	:

2	:	-	:	-	:	-	:

3	:	-	:	-	:	-	:

4	:	-	:	-	:	-	:

5	:	-	:	-	:	-	:

Tab.7: Seitenvergleich behandelte Seite gegen unbehandelte Seite, t-Test, $\alpha = 10\%$, + = signifikante Änderung, - = keine signifikante Änderung.

MP	HEAT		TCP0 ₂	
	beh.	unbeh.	beh.	unbeh.
1 - 2	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-
3 - 4	-	-	-	-
4 - 5	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-
6 - 7	-	-	-	-
7 - 8	-	-	-	-
8 - 9	-	+	-	-
9 - 10	-	-	-	-
10 - 11	-	-	-	-
1 - 3	-	-	-	-
3 - 5	-	-	-	-
5 - 7	-	-	-	-
7 - 9	-	-	-	-
9 - 11	-	-	-	-

Tab.8: Vergleich der Meßphasen jeweils einer Seite, t-Test, $\alpha = 10\%$, + = signifikante Änderung, - = keine signifikante Änderung

MP	:	HEAT	:	TCPO ₂	:
1	:	-	:	-	:
2	:	-	:	-	:
3	:	-	:	-	:
4	:	-	:	-	:
5	:	-	:	-	:
6	:	-	:	-	:
7	:	-	:	-	:
8	:	-	:	-	:
9	:	-	:	-	:
10	:	-	:	-	:
11	:	-	:	-	:

Tab.9:Seitenvergleich behandelte Seite gegen unbehandelte Seite, t-Test, $\alpha = 10\%$, + = signifikante Änderung, - = keine signifikante Änderung.

4.1. ERGEBNISSE DES ERSTEN VERSUCHSDURCHGANGES

Für den intraindividuellen Meßphasenvergleich wurden auch die Doppelmessungen an Proband P1, P4, P5, P11 und P14 mit berücksichtigt.

Von Proband P1 bis Proband P11 wurde das Magnetfeld am rechten Unterarm appliziert; von Proband P12 bis Proband P16 kam das elektromagnetische Feld am linken Unterarm zur Anwendung.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die gemessenen Ereignisse (Temperaturdifferenz 0.2 Grad Celsius, Heizleistungsdifferenz 10 mW, tcpO₂-Differenz 1 mmHg) in Prozentwerten im Meßphasenvergleich vor, während und nach der Magnetfeldtherapie :

	TEMP		HEAT		TCPO ₂	
	Beh.	Unbeh.	Beh.	Unbeh.	Beh.	Unbeh.
MP 1-						
MP 2	19%	19%	0%	0%	33.3%	33.3%
MP 3-						
MP 4	28.6%	28.6%	0%	4.8%	28.6%	33.3%
MP 1-						
MP 3	14.3%	19%	4.8%	0%	23.8%	28.6%
MP 3-						
MP 5	38.1%	23.8%	0%	9.6%	23.8%	28.6%
Mittel-						
wert	25%	22.6%	1.2%	3.6%	27.4%	28.6%

Tab. 10 : Gesamtereignisse in Prozentwerten

Legt man die Ergebnisse aus Tabelle 10 einer Fallzahl-schätzung nach Casagrande (6) zugrunde, so ist es nur - sinnvoll das Ergebnis des Temperaturverlaufs zur Erstellung einer Fallzahl-schätzung heranzuziehen, da lediglich die Temperaturmessung bei der behandelten Seite (P_1) mehr Ereignisse (prozentual) als die unbehandelte Seite (P_2) liefert.

Tabelle 11 und Abbildung 16 zeigen, daß im Fall der Temperaturmessung Fallzahlen über 10 000 resultieren. Um zu verdeutlichen, wie sich die Fallzahlen bei geringeren Ereignissen auf der unbehandelten Seite ändern, wurden im vorliegenden Fall die Fallzahlen für P_2 (gemessene Ereignisse der unbehandelten Seite in Prozent) von 1% - 24% mit berechnet und graphisch aufgezeichnet.

P_1	P_2	FALL	FALL
0.01	0.01	5	FALL (ALPHA = 0.05 und BETA = 0.05)
0.02	0.01	6	
0.03	0.01	7	
0.04	0.01	80	FALL (ALPHA = 0.05 und BETA = 0.05)
0.05	0.01	90	
0.06	0.01	103	
0.07	0.01	116	$P_1 = 0.05$
0.08	0.01	133	ALPHA = 0.05
0.09	0.01	153	BETA = 0.05
0.10	0.01	177	
0.11	0.01	207	
0.12	0.01	245	
0.13	0.01	293	
0.14	0.01	351	
0.15	0.01	423	
0.16	0.01	513	
0.17	0.01	636	
0.18	0.01	821	
0.19	0.01	1263	
0.20	0.01	1850	
0.21	0.01	2924	
0.22	0.01	5055	
0.23	0.01	10948	
0.24	0.01	19371	

Tab. 11: Fallzahlen für $P_1 = 25\%$ und $P_2 = 1\% - 24\%$.

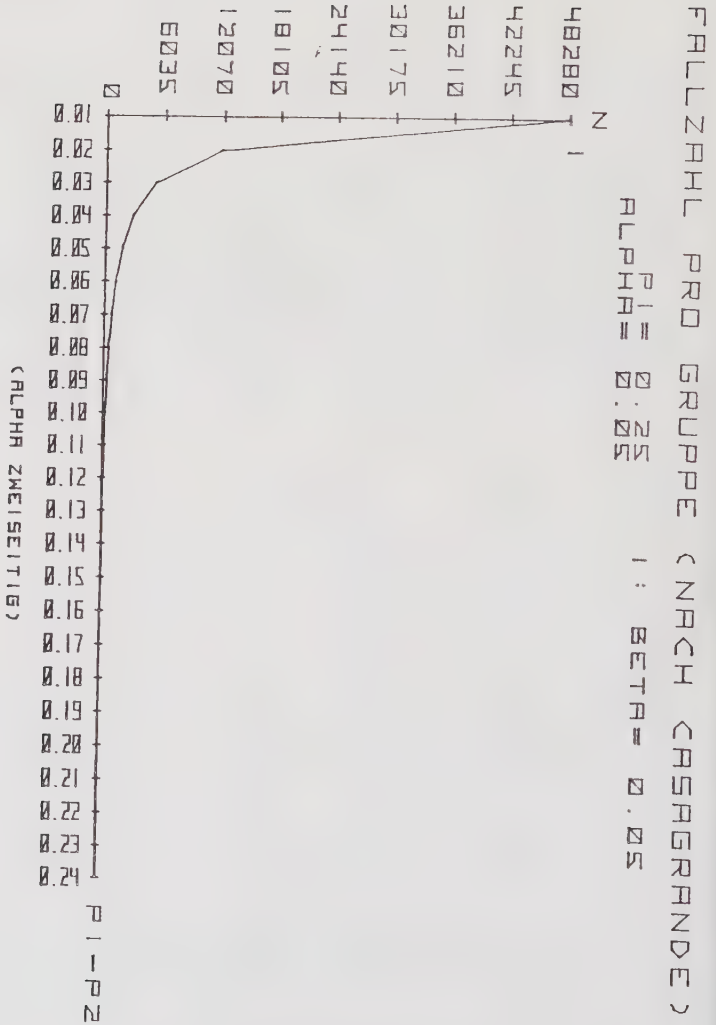


Abb. 16: Fallzahlenverlauf für $P_1 = 25\%$ und $P_2 = 1\% - 24\%$

4.1.1. ERGEBNIS DER TEMPERATURMESSUNG

Die Raumtemperatur variierte von 20.6 Grad Celsius (bei Proband P8) bis 26.8 Grad Celsius (bei Proband P2). Die Schwankungsbreite während eines Versuchsdurchganges betrug nicht mehr als 0.2 Grad Celsius. Die axillär gemessene Körpertemperatur lag bei allen Probanden um 36.8 Grad Celsius.

Die Meßphasenmittelwerte für Unter- und Oberarm der behandelten Seite (TUAB und TOAB) sowie der unbehandelten Seite (TUAU und TOAU) zeigten lediglich bei Proband P3 und Proband P14 Temperaturunterschiede der Meßphasenmittelwerte um mehr als 0.2 Grad Celsius, wobei sich bereits in der Meßphase vor Einschalten des Magnetfeldes ein steigender Trend der Temperaturwerte zeigte. Auf eine graphische Darstellung der Ober- und Unterarmtemperatur wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Ebenso wurde keine statistische Auswertung mit dem t-Test durchgeführt.

Die erhobenen Meßphasenmittelwerte für die Fingertemperatur bewegten sich zwischen 23.4 (bei Proband P13) und 35.5 Grad Celsius (bei Proband P15).

Ein Anstieg der Meßphasenmittelwerte der Fingertemperatur allein auf der behandelten Seite um mindestens 0.2 Grad Celsius ergab sich während oder nach Magnetfeldapplikation bei folgenden Probanden:

MP1 - MP2: -

MP1 - MP3: -

MP3 - MP4: P4B, P6

MP3 - MP5: P4B, P6, P14 und P14B

Bei allen anderen Probanden lag entweder eine beidseitige Erhöhung der Fingertemperatur, oder nur eine Erhöhung der unbehandelten Seite, oder eine Erniedrigung der behandelten

Seite vor.

Der graphische Verlauf der Fingertemperatur gibt wieder, daß ein Anstieg der Fingertemperatur bei Proband P4B, P6, P14 und P14B noch in der Meßphase 3 erfolgt ist und somit nicht auf einen Magnetfeldeinfluß zurückzuführen ist.

Bei der statistischen Auswertung aller Meßdaten für die Fingertemperatur ergibt sich kein selektiver signifikanter Anstieg unter dem Einfluß eines elektromagnetischen Feldes.

4.1.2. ERGEBNIS DER SAUERSTOFFMESSUNG

Die Spannweite der hier erhobenen Meßphasenmittelwerte betrug 25.7 mmHg (bei Proband P4) und 1.9 mmHg (bei Proband P5B).

Bei folgenden Probanden war während oder nach Applikation des Magnetfeldes allein auf der behandelten Seite ein Anstieg der Meßphasenmittelwerte des transcutan gemessenen Sauerstoffpartialdruckes um mindestens 1 mmHg zu verzeichnen:

MP1 - MP2: P1, P1B, P4B, P12 und P14B

MP1 - MP3: P1B und P10

MP3 - MP4: P4B und P7

MP3 - MP5: P6

Bei allen anderen Probanden lag entweder ein Anstieg der Sauerstoffpartialdruckmittelwerte beider Seiten, oder ein Anstieg nur der unbehandelten Seite, oder ein Abfall des Sauerstoffpartialdruckes der behandelten Seite vor.

Aus dem Verlauf der Sauerstoffpartialdruckkurven geht hervor, daß noch während der Meßphase 1 der Sauerstoffpartialdruck bei den Probanden P1, P4B, P10 und P14B zu steigen beginnt; ebenso steigt noch in der Meßphase 3 der Sauerstoffpartial-

druck bei den Probanden P6 und P7 an. Bei Proband P12 steigen die Graphen für die behandelte und unbehandelte Seite nahezu parallel an (Unterschied MP1 - MP2 unbehandelte Seite = 0.9 mmHg, behandelte Seite 1.0 mmHg).

Lediglich bei Proband P1B ist ein selektiver Anstieg des Sauerstoffpartialdruckes der behandelten Seite nach etwa 5 Minuten in der Meßphase 2 (Magnetfeldapplikation 40 Gauss, 12 Hz) zu verzeichnen. Allerdings bekam Proband P1B 8 Minuten nach Versuchsbeginn eine Decke, da ihm kalt war (siehe Verlauf der Fingertemperatur).

Das statistische Testverfahren erbrachte keinen selektiven signifikanten Anstieg des transcutan gemessenen Sauerstoffpartialdruckes auf der behandelten Seite.

4.1.3. ERGEBNIS DER MESSUNG DER HEIZLEISTUNG

Der maximale Meßphasenmittelwert für die Heizleistung der Sauerstoffelektrode betrug 168.5 mW (bei Proband P10), der niedrigste betrug 75.4 mW (bei Proband P 2).

Ein selektiver Anstieg der Heizleistung um mindestens 10 mW ergab sich während oder nach Applikation des Magnetfeldes nur auf der behandelten Seite bei folgenden Probanden:

MP1 - MP2: -

MP1 - MP3: P12

MP3 - MP4: -

MP3 - MP5: -

Bei den übrigen Probanden war entweder eine beidseitige Erhöhung der Heizleistung, oder nur eine Erhöhung der unbehandelten Seite, oder ein Absinken auf der unbehandelten Seite

zu verzeichnen.

Bei Proband P12 ist aus dem Kurvenverlauf der Heizleistung ersichtlich, daß etwa 12 Minuten nach Ende der Magnetfeldbehandlung (40 Gauss, 12 Hz) ein Anstieg der Heizleistung auf der behandelten Seite erfolgt. Eine steigende Tendenz ist allerdings auch auf der unbehandelten Seite zu erkennen. Die erhöhte Heizleistung hält bis circa 3 Minuten nach Ende der zweiten Magnetfeldapplikation (100 Gauss, 50 Hz) an und fällt dann ab.

Das statistische Testverfahren gibt lediglich eine signifikante Änderung beim Vergleich der Meßphase 4 mit der Meßphase 5 allein auf der behandelten Seite wieder. Im Seitenvergleich behandelte gegen unbehandelte Seite ist keine signifikante Änderung zu erkennen.

4.2. ERGEBNISSE DES ZWEITEN VERSUCHSDURCHGANGES

Bei dem statistischen Testverfahren wurde wegen eines Meßfehlers in der Sauerstoffpartialdruckmessung ab der Meßphase 8 Proband K2 nicht berücksichtigt.

Bei dem intraindividuellen Meßphasenvergleich wurde bei Proband K2 ab Meßphase 8 auf eine Auswertung verzichtet.

4.2.1. ERGEBNIS DER TRANSCUTANEN SAUERSTOFFMESSUNG

Der maximale Meßphasenmittelwert betrug 72.7 mmHg (bei Proband K2), der minimale Meßphasenmittelwert 29.7 mmHg (bei Proband K9).

Bei folgenden Probanden ergab sich ein selektiver Anstieg des Sauerstoffpartialdruckes auf der behandelten Seite während oder nach Applikation des Magnetfeldes von mindestens 1mm Hg:

MP1 - MP2: K3

MP1 - MP3: K3

MP3 - MP4: K3 und K7

MP3 - MP5: K10

MP5 - MP6: K6 und K10

MP5 - MP7: K6

MP7 - MP8: K1

MP7 - MP9: K1

MP9 - MP10: K3 und K10

MP9 - MP11: K3, K5 und K10

Bei allen anderen Probanden war entweder eine gleichseitige Erhöhung des Sauerstoffpartialdruckes, oder es erhöhte sich nur der Sauerstoffpartialdruck der unbehandelten Seite, oder es kam zum Absinken des Sauerstoffpartialdruckes auf der behandelten Seite.

Auf Grund des Kurvenverlaufes sieht man, daß während der Meßphase ohne Magnetfeldapplikation entweder bereits höhere Werte als in der darauffolgenden Meßphase bestanden, die dann noch in der gleichen Meßphase abfielen, oder die Meßwerte zeigten noch gegen Ende der Meßphase ohne Magnetfeld eine steigende Tendenz.

Ein spezieller On-Off-Effekt bei Magnetfeldapplikation konnte bei Auswertung der Verlaufskurven nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse des statistischen Testverfahrens (Tabelle 8 und 9) zeigen keinerlei signifikante Änderung im Sinne eines Sauerstoffanstieges.

4.2.2. ERGEBNIS DER MESSUNG DER HEIZLEISTUNG

Der höchste Meßphasenmittelwert für die Heizleistung der Sauerstoffelektrode betrug 295.2 mW (bei Proband K9), der niedrigste 215.1 mW (bei Proband K6).

Ein selektiver Anstieg der Heizleistung auf der behandelten Seite während oder nach der Magnetfeldapplikation ergab sich bei folgenden Probanden:

MP1 - MP3: -
 MP1 - MP3: -
 MP3 - MP4: -
 MP3 - MP5: -
 MP5 - MP6: -
 MP5 - MP7: -
 MP7 - MP8: -
 MP7 - MP9: -
 MP9 - MP10: -
 MP9 - MP11: K9

Bei den übrigen Probanden erfolgte entweder eine beidseitige Erhöhung der Heizleistung, oder nur eine Erhöhung der unbehandelten Seite, oder die Heizleistung verminderte sich auf der behandelten Seite.

Aus dem Kurvenverlauf der Heizleistung bei Proband K9 ist ersichtlich, daß bereits in Mitte der Meßphase 9 ein kurzzeitiger Anstieg zu verzeichnen war; ihm folgt ein kurzer Abfall und anschließend wieder ein Anstieg.

Auch hier konnte kein spezieller On-Off-Effekt nach Inbe-

triebnahme oder Abschalten des Magnetfeldes beobachtet werden.

Das statistische Testergebnis zeigt ebenso keine signifikante Änderung der Heizleistung bei Magnetfeldapplikation (Tabelle 8 und 9).

5. DISKUSSION

5.1. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aus beiden Versuchsdurchgängen zeigen, daß sich die periphere Durchblutung unter dem Einfluß eines niederfrequent gepulsten elektromagnetischen Feldes nicht ändert. Die Unterschiede der Variablen, die sich während der einzelnen Meßphasen zeigten, waren entweder auf der behandelten und unbehandelten Seite gleichzeitig zu sehen, oder es zeigten sich nur auf der unbehandelten Seite Unterschiede. Die intra - und interindividuell erfaßte Variabilität der Durchblutung beider Unterarme trat unabhängig vom Magnetfeld auf. Die Perfusion unterliegt demnach normalen physiologischen Schwankungen.

5.2. KRITIK DES STUDIENDESIGNS

Die vorliegende Studie ist als Phase I Prüfung geplant gewesen. Es sollte zur Fallzahlschätzung für eine kontrollierte klinische Studie über den durchblutungssteigernden Effekt der Magnetfeldtherapie im Seitenvergleich getestet werden, wie groß der Unterschied zur unbehandelten Kontrolle ist. Es werden demnach zwar Kontrollmessungen durchgeführt, eine strenge Randomisierung aber nicht vorgenommen. Letzteres wird

nach den Ausführungen von Biefang et al. (5) gestattet. Die Zuteilung der Therapie-seite (rechter oder linker Arm) erfolgte willkürlich. Die fehlende Randomisierung ist der einzige Punkt, in dem von einer kontrollierten klinischen Studie (Phase II Studie) abgewichen wird. Dies ist mit dem gesteckten Ziel, einer Pilotstudie zur Erarbeitung einer Fallzahlschätzung, vereinbar.

5.3. KRITIK DER MEßMETHODIK

Bei der Negativität der Ergebnisse stellt sich nun die Frage, ob mit den o.a. Variablen die periphere Durchblutung auch wirklich erfaßt wurde.

Die Messung der Hauttemperatur ist sowohl von äußeren Bedingungen, wie Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit, als auch von der lokalen Durchblutung und der Perfusion des benachbarten Gewebes, also proximal und distal der Meßstelle abhängig (14). Hält man die bekannten Störgrößen (Raumtemperatur, Schalleinwirkung) kontrolliert, so darf man annehmen, daß die Hauttemperatur mit der momentanen Durchblutung korreliert (14). Die Vorversuche haben gezeigt, wie sich die Hauttemperatur in Abhängigkeit von der Durchblutung verändert. Aus den Abbildungen 5 und 6 ist ersichtlich, daß bei den Raumtemperaturen während der Versuche noch genügend Spielraum für eine Erhöhung der Hauttemperatur und damit einer Durchblutungssteigerung vorhanden war.

Die Möglichkeit der Überlagerung schwacher Magnetfeldeffekte durch die Raumtemperatur (20.6 Grad Celsius - 26.8 Grad Celsius) besteht durchaus. Allerdings läge dann der durch das

Magnetfeld induzierte Effekt im Bereich der physiologischen Schwankungsbreite, wie sie sich auf der unbehandelten Seite zeigt.

Die Intention dieser Untersuchung richtet sich aber vor allem auf Durchblutungseffekte, die über der normalen Schwankungsbreite liegen sollte; d.h., daß zwischen behandelter und unbehandelter Seite ein, bei normalen Raumtemperaturen, eventuell durch das Magnetfeld induzierter Effekt (Hauttemperaturerhöhung auf Grund vermehrter Hautdurchblutung) sich zeigen sollte. Die Durchblutung hängt bei den hier gemessenen Raumtemperaturen kritisch von der Raumtemperatur ab. Allerdings bleibt die Raumtemperatur während eines Versuchsdurchganges nahezu konstant (Schwankung um 0.2 Grad Celsius). Die relativ große Standardabweichung bei Zusammenfassung aller Versuchsdurchgänge resultiert aus den unterschiedlichen Raumtemperaturen und aus dem interindividuellen Hauttemperaturverhalten der verschiedenen Probanden.

Möchte man möglichst geringe, nicht von der Raumtemperatur abhängige, Durchblutungsschwankungen erfassen, so sollten Messungen bei Raumtemperaturen außerhalb des kritischen Bereichs (siehe Abb.5), also bei ca. 18 Grad Celsius, durchgeführt werden.

Parker (35) untersuchte den Abtransport von Wärme unter einer transcutanen Sauerstoffelektrode bezüglich der Abhängigkeit von der lokalen Durchblutung unter der Meßstelle und kam zu dem Ergebnis, daß die Heizleistung ansteigt, wenn die lokale Durchblutung zunimmt und umgekehrt, daß bei Verminderung der Perfusion die Heizleistung abnimmt, da weniger Wärme abtransportiert wird. Enkema et al. (10) kamen in ihrer Untersuchung über Laser-Doppler-Flowmessung im Vergleich zur Messung der Elektrodenheizleistung als Indikator für die Hautdurchblutung zu dem Ergebnis, daß zwar die Laser-Doppler-Flowmessung sensitiver, spezifischer und schneller als die

Heizleistung der Sauerstoffelektrode auf Änderungen der Hauttemperatur anspricht, daß aber auch die Messung der Heizleistung bei konstanter Umgebungstemperatur indirekt die Durchblutung erfaßt.

Auch die transcutane Sauerstoffpartialdruckmessung ist in der Literatur hinreichend als Indikator für die lokale Durchblutung beschrieben (7, 8, 23, 42). Die Untersuchung von Eickhoff (8) zeigt die Korrelation von transcutanem Sauerstoffpartialdruck und der Hautdurchblutung unter einer beheizten und nicht beheizten Sauerstoffelektrode.

Bei sechs gesunden Probanden wurde die Durchblutung einer Meßstelle am Fuß unter einer Sauerstoffelektrode bei 43 Grad Celsius untersucht. Änderungen des arteriellen und venösen Blutdruckes und damit der Perfusion wurden durch Hebung oder Senkung aus der horizontalen Lage (Herzniveau) und durch venöse Stauung erzielt. Bei Elevation des Fußes von jeweils 10 cm bis auf 40 cm nahm der transcutane Sauerstoffdruck, die Heizleistung der Meßelektrode, sowie der arterielle Blutdruck kontinuierlich ab. Bei Absenkung des Fußes von - 10 cm bis auf - 40 cm stiegen der transcutane Sauerstoffdruck, die Heizleistung und der arterielle Perfusionsdruck gleichmäßig an. Bei der venösen Stauung blieben Sauerstoffdruck und arterieller Blutdruck konstant, die Heizleistung sank ab.

Weiter beschreibt Eickhoff, daß im normalen nicht erwärmten Gewebe autoregulative Mechanismen (Vasodilatation oder Vasoconstriktion) zur Konstanthaltung der momentan erforderlichen Durchblutung erkennbar sind. Im Gegensatz dazu sieht man im erwärmten Gewebe einen deutlichen Anstieg oder Abfall des transcutanen Sauerstoffdruckes in Abhängigkeit von der horizontalen Lage.

Eine Übersicht über die Ergebnisse von Eickhoff gibt Abbildung 17 und 18 und Tabelle 12 wieder.

	Position (cm)									Venous stasis 30 (mmHg)
	+40	+30	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40	
$\bar{P}_a$ (mmHg)	$\bar{x}$ 70	77	84	92	99	106	114	121	128	99
P_v (mmHg)	$\bar{x}$ 0	0	0	0	5	12	20	27	34	20
ΔP (mmHg)	$\bar{x}$ 70	77	84	92	94	94	94	94	94	79
$RLBF_{norm}$ (l)	$\bar{x}$ 0.95	0.92	1.05	1.10	1	0.94	0.76	0.73	0.71	0.74
$\pm SD$	0.10	0.13	0.28	0.27		0.34	0.20	0.12	0.27	0.30
P	0.28	0.20	0.68	0.40		0.68	0.04	0.01	0.04	0.08
$RLPR_{norm}$ (l)	$\bar{x}$ 0.78	0.89	0.85	0.89	1	1.06	1.32	1.11	1.41	1.14
$RLBF_{stas}$ (l)	$\bar{x}$ 0.56	0.69	0.73	1.01	1	0.99	0.99	1.03	1.18	0.77
$\pm SD$	0.32	0.27	0.25	0.21		0.06	0.10	0.14	0.42	0.12
P	0.02	0.04	0.04	0.90		0.70	0.82	0.62	0.34	0.00
$RLPR_{stas}$ (l)	$\bar{x}$ 1.33	1.19	1.22	0.97		1.01	1.01	0.97	0.85	1.09
Relative $tcpO_2$ (l)	$\bar{x}$ 0.61	0.70	0.79	0.91	1	1.09	1.16	1.18	1.20	1.00
$\pm SD$	0.27	0.25	0.18	0.05		0.12	0.16	0.20	0.26	0.11
P	0.02	0.04	0.04	0.00		0.12	0.06	0.08	0.12	1.00

Tab. 12: Mittlerer arterieller (Pa), venöser (Pv) und Perfusionsdruck (ΔP), relative lokale Durchblutung in erwärmtem ($RLBF_{heat}$) und normalem Gewebe ($RLBF_{norm}$), relativer lokaler peripherer Widerstand in erwärmtem ($RLPR_{heat}$) und normalem Gewebe ($RLPR_{norm}$), relativer $tcpO_2$ von sechs Füßen bei Anhebung, Absenkung und venösem Stau. $\bar{x}$ =Mittelwert; SD=Standardabweichung. (8)

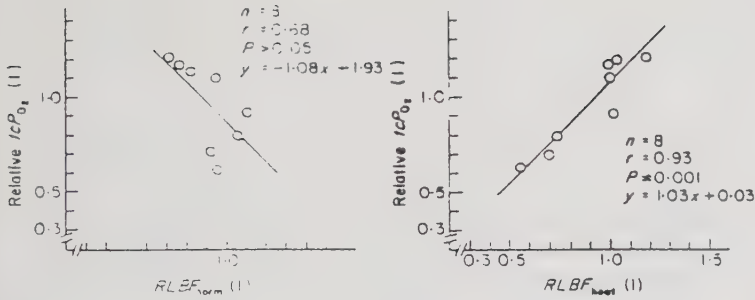


Abb. 17 : Korrelation zwischen relativen $topO_2$ und lokaler Durchblutung von normalem nicht erwärmten Gewebe (RBF_{norm}) und zwischen relativer Durchblutung unter einer beheizten Elektrode (RBF_{heat}). Jeder Punkt kennzeichnet die Ergebnisse der Messungen bei unterschiedlicher Lage der Extremität (-40 cm bis +40 cm). (8).

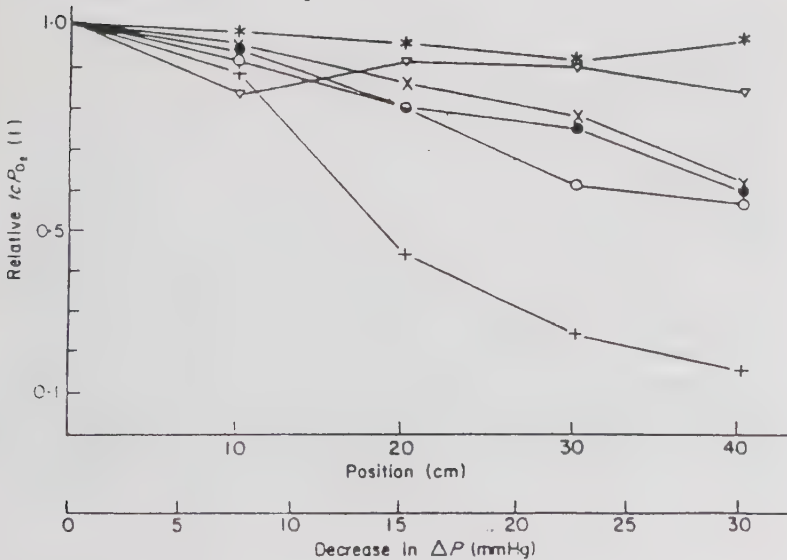


Abb. 18 : Individuelle Veränderungen des relativen $topO_2$ bei Anheben der untersuchten Extremität. (8)

Obwohl die transcutane Sauerstoffpartialdruckmessung, wie oben erwähnt, in der Literatur als Indikator für die lokale Perfusion ausführlich diskutiert wurde, stellt sich die Frage der Fehlerdiskussion, da die Meßergebnisse doch erhebliche Schwankungen aufweisen.

Der Hauptgrund für die interindividuellen Unterschiede beruht auf der Tatsache, daß bei der im ersten Versuchsdurchgang gewählten Elektrodentemperatur von 37 Grad Celsius bei einigen Probanden relativ niedrige Sauerstoffpartialdrucke resultierten und sich damit geringe Änderungen stark auf die errechnete Standardabweichung auswirkten. Hinzu kommt der zufällige Fehler, der vor allem auf der unterschiedlichen Hautdicke und Kapillarisation (A-V-Shunts) unter der Meßstelle beruht. Einen zusätzlichen unvermeidbaren Fehler stellt die Drift der Sauerstoffelektrode dar; sie ist jeweils bei den Rohdaten mit aufgeführt. Die Drift der Elektrode ist unter anderem als ein Grund dafür anzusehen, daß die Sauerstoffwerte gegen Ende einer Messung häufig höher waren, als zu Beginn eines Versuchsdurchganges, unabhängig, ob es sich um die behandelte oder die unbehandelte Seite handelte.

Bei Betrachtung der graphischen Darstellungen von Hauttemperatur, Sauerstoffpartialdruck und Heizleistung fällt auf, daß diese Variablen nicht korrelieren. Dies ist zum einen durch unterschiedliche Meßstellen für die Hauttemperatur (Fingerbeere) und für den Sauerstoffpartialdruck (Unterarmmitte), zum anderen durch unterschiedliche Ansprechzeiten und Intensität bei Durchblutungsänderungen bedingt. Eine Erklärung für die Negativität der vorliegenden Ergebnisse könnte sein, daß die eingesetzten Meßsysteme zu unempfindlich gewesen sind, um Magnetfeld bedingte Durchblutungssteigerungen zu beobachten. Allerdings stellt sich dann die Frage, ob Effekte die unter, oder im Bereich der physiologischen Schwankung liegen, und solche normale Schwankungen wurden zumindest am

unbehandelten Arm registriert, tatsächlich einen Effekt ausüben können. Die Magnetfeldtherapie besitzt jedoch nur dann klinische Relevanz, wenn der Effekt groß genug ist, physiologische Regelmechanismen meßbar zu beeinflussen.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist das vom Impulsgenerator erzeugte Magnetfeld.

Wir führten die Messungen bei einer Einstellung von 40 Gauss, 12 Hz und 100 Gauss 50 Hz aus folgenden Gründen durch:

Erstens empfiehlt der Hersteller bei Durchblutungsstörungen eine Einstellung von 40 Gauss, 12 Hz (warum gerade diese Einstellung die Perfusion steigern soll ist unbekannt), zweitens um bei einem möglichen positiven Effekt zu sehen, ob sich die Perfusion durch Erhöhung von Energie und Frequenz nochmals steigern läßt.

Eine technisch-physikalische Untersuchung des eingesetzten Magnetfeldtherapiegerätes wurde bereits in Kapitel 3.2. - beschrieben.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß die vom Hersteller propagierten Werte nicht im geringsten erreicht werden. Ob dadurch keine Durchblutungssteigerung beobachtet werden konnte, läßt sich hier nicht klären. Zu diesem Zweck müßte ein anders geartetes Gerät konstruiert werden.

Ein weiter Diskussionspunkt liegt in der möglichen Interaktion des Magnetfeldes, das sich zeitlich ändert, mit den metallischen Bauteilen (Thermistoren, Silberanode und Platin-kathode) der Sauerstoffelektrode.

Zum einen besteht die Möglichkeit der Aufheizung auf Grund von Wirbelströmen, die durch elektrisch leitende Stoffe in einem magnetischen Wechselfeld entstehen. Dieser Effekt, eine Absenkung der registrierten Heizleistung unter Magnetfeldeinfluß, konnte nicht gesehen werden (siehe Tabellarium im Anhang). Wahrscheinlich ist die resultierende Leistung zu gering.

Zum anderen wäre denkbar, daß wegen der Ringform der Silberanode im Inneren des Ringes das Magnetfeld nicht vorhanden wäre (Kurzschluß magnetischer Wechselfelder durch metallische Leiter). Die rechnerische Abschwächung des Magnetfeldes beträgt unter ungünstigsten Voraussetzungen ca. 2.4 % (siehe S. 142).

Wäre dennoch unter der Sauerstoffelektrode kein Magnetfeld vorhanden, so würde unverzüglich Sauerstoff aus der Umgebung im Sinne einer Homöostase in das Hautareal unter der Elektrode fließen.

5.4. ERGEBNISKRITIK IM LITERATURVERGLEICH

Warnke (43, 44, 45, 46) berichtet von einem positiven Effekt niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die periphere Durchblutung beim Menschen. Als Meßparameter dienten die Infrarotstrahlung, sowie der Sauerstoffpartialdruck der Haut. Warnke kam zu dem Ergebnis, daß gepulste elektromagnetische Felder mit einer Intensität von 5 Gauss und einer Frequenz von "Überwiegend größer als 10 Hz" die Wärmeabstrahlung lokaler Bereiche der Körperoberfläche verändern können. Innerhalb von zwei Minuten konnte diese Reaktion an Armen und Händen beobachtet werden. Der gleiche Effekt konnte bei Applikation eines elektromagnetischen Feldes mit 20 Hz erzielt werden.

Als theoretisch mögliche Ursachen kommen laut Warnke in Frage:

- Magnetisch induzierte Reduzierung des Sympathico- Tonus, möglicherweise auf Grund einer Ansteuerung eines depressorischen Zentrums im Gebiet der *Formatio reticularis*; dadurch Dilatation der Hautgefäße.

- Der pO_2 Anstieg resultiert laut Warnke aus:

- Hyperämie
- verbesserte Diffusionsbedingungen durch Gefäßerweiterung infolge Verringerung der Diffusionstrecke zwischen Gefäßen und Interkapillargewebe.
- Verbesserung der Permeabilität der Zellmembran
- veränderte O_2 -Bindungsfähigkeit an Hämoglobin
- verbesserte Fließeigenschaften des Blutes durch:
 - Viskositätserniedrigung; mit steigender Fließgeschwindigkeit nimmt die Erythrozytenaggregation ab,
 - Verringerung von Reibungswiderständen infolge magnetisch induzierter Wechselwirkung mit paramagnetischem Hämoglobin und diamagnetischem Oxyhämoglobin,
- verbesserte Geschoßverformung der Erythrozyten.

Warnke räumt jedoch ein, daß eine Steigerung der peripheren Durchblutung nur intraindividuell statistisch sicherbar ist; d.h. nicht jede Versuchsperson zeigt eine nachweisbare Reaktion auf die Applikation eines elektromagnetischen Feldes und verschiedene Probanden zeigen unterschiedlich starke Reaktionen.

Lau (27) untersuchte ebenfalls in zwei Studien den Einfluß niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Durchblutung.

In der ersten Studie wurde die Perfusion bei 26 Probanden mit einer Dopplersonde über der *Arteria radialis* gemessen, sowie Blutdruck und Puls registriert. Nach Applikation eines elektromagnetischen Feldes am Thorax oder im Bereich des Kopfes von 5 Gauss und verschiedenen Frequenzen, die zwischen

10 und 20 Hz lagen, konnte Lau eine Steigerung des Flows um bis zu 400% erzielen.

In einer zweiten Studie führte Lau eine transcutane Sauerstoffpartialdruckmessung bei einer Elektrodentemperatur von 43 Grad Celsius durch. Bei einer Pulsationsfrequenz von 12 bis 20 Hz wurde bei 90% der Probanden eine Steigerung des Sauerstoffpartialdrucks um 1 bis 4 Einheiten erreicht. Der Anstieg erfolgte stufenweise mit einem Gipfel nach 10 bis 15 Minuten. Bei 15% der Probanden war bereits nach 2 bis 3 Minuten ein starker Sauerstoffanstieg zu verzeichnen. Ein höherer Sauerstoffpartialdruck bestand für einige Zeit fort. Lau schließt daraus, daß ein Anstieg der Durchblutung durch eine Verringerung des peripheren Widerstandes resultiert, da sich während der Magnetfeldapplikation keine Änderung des peripheren Blutdrucks oder der Herzfrequenz zeigte.

Die Ergebnisse der oben aufgeführten Untersuchungen von Lau und Warnke konnten nicht reproduziert werden. Ebenso konnte der von Warnke berichtete On-Off-Effekt, der innerhalb von 2 Minuten auftreten soll, speziell durch den 2. Versuchsdurchgang (Magnetfeldintervalle von jeweils 5 Minuten Dauer) nicht gezeigt werden. Auf die Diskussion von Hypothesen zur Wirksamkeit der Magnetfeldtherapie soll hier verzichtet werden, da es die vorliegende Untersuchung nicht erlaubt intra- und extrazelluläre Vorgänge, die die Durchblutung beeinflussen sollen, während des Magnetfeldeinflusses zu beurteilen.

Die Resultate der Untersuchung von Mollan et al. (30) bestätigen die eigenen negativen Ergebnisse. Mollan untersuchte im Seitenvergleich ob unter dem Einfluß eines gleichartigen elektromagnetischen Feldes (induzierte elektrische Feldstärke 1.5 - 4.5 mV/cm) die Durchblutung am Unterschenkel von gesunden Probanden ansteigt. Die Durchblutung wurde mit der Venenverschlußplethysmographie gemessen. Im Blindversuch konnte Mollan keinen signifikanten Unterschied (Signifikanzniveau

5%) zwischen behandelter und unbehandelter Seite feststellen.

5.5. KRITISCHE UNTERSUCHUNG DER LITERATUR

Evans und Pollock (12) veröffentlichten 1985 ein Bewertungsscore, das als Standard für Studienplanung und Studienvalidierung gelten kann.

An Hand von 33 Fragen über Studiendesign, Analyse, Durchführung, Schlußfolgerung und Präsentation erstellten die Autoren eine Bewertungstabelle zur objektiven Beurteilung wissenschaftlicher Publikationen.

Diesem Bewertungsscore werden hier nur die harten Kriterien zur Beurteilung entnommen. Zur Bewertung der bisher veröffentlichten Untersuchungen bezüglich Magnetfeldtherapie und peripherer Durchblutung wurde dieses Score-System wie folgt angepaßt:

1. Gliederung in Einleitung, Zielsetzung, Material und Methodik, Ergebnisse und Diskussion ?
2. Korrekte Fragestellung (Wird das untersucht, was im Titel angekündigt ist?) ?
3. Experimentelle Studie ?
4. Blind- oder Doppelblindstudie ?
5. Ist eine Kontrollgruppe vorhanden ?
6. Sind Ausschlusskriterien und drop outs angegeben ?
7. Erfolgte eine Randomisierung ?
8. Definition der Zielgröße ?
9. Definition der Einflußgröße ?
10. Werden quantifizierbare Variablen untersucht ?
11. Beschreibt die gewählte Variable die Zielgröße ?

12. Sind Störgrößen definiert ?
13. Exakte Beschreibung der Versuchsdurchführung
(Reproduzierbarkeit) ?
14. Sind Rohdaten in der Veröffentlichung aufgeführt
(Überprüfbarkeit der Ergebnisse) ?
15. Wurde ein statistischer Test angewandt ?
16. Angaben von Streumaßen ?
17. Fehlerabschätzung ?
18. Angabe eines Signifikanzniveaus ?

Jede Frage, die uneingeschränkt mit "ja" beantwortet werden kann, wird mit einem Punkt bewertet. Kann eine Frage nicht exakt beantwortet werden, so wird kein Punkt verteilt. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 18 Zähler. Nachfolgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Literaturdurchsicht.

	Warnke	Lau	Mollan	eigene Unter- suchung
1. Formale Gliederung	1	1	1	1
2. Fragestellung	1	1	1	1
3. Experimentelle Studie	1	1	1	1
4. Blind- Doppelblindstudie	1	0	0	1
5. Kontrollgruppe	0	0	0	1
6. Ausschlusskriterien	0	0	0	1
7. Randomisierung	0	0	0	0
8. Zielgrößendefinition	1	1	1	1
9. Einflußgrößendefinition	1	1	1	1
10. Quantifizierbare Variable	1	1	1	1
11. Variable - Zielgröße	1	1	1	1
12. Störgrößendefinition	0	0	0	1
13. Versuchsbeschreibung	0	0	0	1
14. Rohdatenangabe	0	0	0	1

15. Statistik	0	0	0	1	1
16. Streumaße	0	0	1	1	1
17. Fehlerabschätzung	0	0	0	0	1
18. Signifikanzniveau	0	0	0	1	1

Summe:	8	7	8	14	17

Tab. 13 : Bewertungstabelle zum Literaturvergleich

Aus dem Ergebnis der Bewertungstabelle ist erkennbar, daß diejenigen Untersuchungen, die einen positiven Effekt der Magnetfeldtherapie auf die periphere Durchblutung beschreiben, strengen wissenschaftstheoretischen Standards nur zum Teil genügen. Zum gleichen Ergebnis kommen Kröling und Schnizer (26) unter Zugrundelegung eines ausgedehnten Literaturstudiums über die Problematik der Magnetfeldtherapie. Es ist vor allem unerläßlich, bei einer Grundlagenstudie zur Wirksamkeitsbehauptung der Magnetfeldtherapie sämtliche Fakten so zu dokumentieren, daß das erzielte Ergebnis bezüglich Validität und Reproduzierbarkeit diskutiert werden kann.

5.6. SCHLUSFOLGERUNGEN

Die derzeitige Situation bei der Beurteilung der äußerlich angewandten Magnetfeldtherapie läßt sich folgendermaßen beschreiben:

Zum einen liegen mehrfach in kontrollierten Studien (4, 11, 24) Hinweise auf die Unwirksamkeit der Magnetfeldtherapie vor, zum anderen ergeben sich Wirksamkeitsbehauptungen aus

teilweise nicht kontrollierten oder wissenschaftlichen Studienstandards nicht genügenden Untersuchungen.

Die Frage, ob das verwandte niederfrequent gepulste, vergleichsweise schwache, elektromagnetische Feld unter physiologischen Bedingungen Änderungen in der peripheren Durchblutung bewirkt (Alternativhypothese H_1), kann durch die vorliegende Studie nicht kausal beantwortet werden. Die Nullhypothese H_0 wird durch das vorliegende Ergebnis statistisch signifikant gestützt. Dies schließt jedoch nicht unbedingt eine Wirksamkeit im Krankheitsfall aus. Wir fassen aber die vorliegenden Ergebnisse als hinreichend gesichertes Argument dafür auf, daß auch im pathophysiologischen Fall die Durchblutung kausal durch die äußerlich angewandte Magnetfeldtherapie nicht geändert wird, da eine Durchblutungsänderung bei konstanter Herzleistung (Blutdruck und Herzfrequenz) vorwiegend am selben morphologischen Substrat (präkapilläre Sphinkteren) erfolgt. Auch für die Anwendung der äußerlichen Magnetfeldtherapie bei der Frakturheilung, die bekanntermaßen durchblutungsabhängig ist, gelten die vorgelegten kritischen Überlegungen. Dieser Analogieschluß bedürfte allerdings der Falsifizierung anhand weiterer kontrollierter Untersuchungen. Wenn allerdings eine Wirksamkeit der Magnetfeldtherapie vorliegt, so ist dieser Effekt so klein, daß zu seinem Nachweis extrem hohe Probandenzahlen erforderlich wären. Als validiertes Ergebnis der vorliegenden Studie ist deshalb anzusehen, daß eine kontrollierte klinische Studie des Effektes der äußerlich angewandten Magnetfeldtherapie aus Gründen des erforderlichen Studiendesigns (Fallzahlen über 10 000) nicht durchführbar ist. Der Beweis der Wirksamkeit dieser Form der Magnetfeldtherapie dürfte deshalb beim jetzigen Methodenarsenal in weite Ferne gerückt sein.

Vor diesem Hintergrund ist es unserer Auffassung nach nicht

zu vertreten, vor Beweis der Wirksamkeit und angesichts starker Argumente für die Nichtwirksamkeit des Magnetfeldtherapieverfahrens, dieses als Kostenfaktor in die Behandlung einzusetzen; selbst wenn es nur einen Placeboeffekt hätte, wäre es zu teuer.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1.) Aschoff, J., Temperaturregulation, in Taschenbuch der Physiologie, Herausgeber Gauer, Kramer, Jung, Urban und Schwarzenberg, 1975

2.) Aschoff, J., Hauttemperatur und Hautdurchblutung im Dienst der Temperaturregulation, Klinische Wochenschrift, 1958, 5, S. 193 - 202.

3.) Basset, C.A.L., Die nichtoperative Behandlung nichtverwachsener Frakturen mit Hilfe spezifischer pulsierender elektromagnetischer Felder, Zeitschrift für Orthopädie, 120, (1982), S. 493 - 496.

4.) Blümlein, H., Schneider, U., Rahn, B.A., Perren, S.M., Die Wirkung sogenannter elektrodynamischer Potentiale an experimentellen Pseudarthrosen, Helv. chir. Acta, 45, 1982, S. 129- 132.

5.) Biefang, S., Köpcke, W., Schreiber, M.A., Medizinische Informatik und Statistik, Manual für die Planung und Durchführung von Therapiestudien, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980,

6.) Casagrande, J.T., Pike, M.C., An improved approximate formula for calculating sample sizes for comparing 2 binomial distributions, Biometrics, 34, 1978, S. 483 - 486.

7.) Eickhoff, J. H., Ishihara, S., Jacobsen, E., Effect of arterial and venous pressures on transcutaneous oxygen tension, Scand. J. clin. lab. Invest., 40, 1980, S. 755 - 760.

- 8.) Eickhoff, J. H., Jacobsen, E., Correlation of transcutaneous oxygen tension to blood flow in heated skin, Scand. J. clin. Lab. Invest., 40, 1980, S. 761 - 765.
- 9.) Englisch, W., Die transcutane Partialdruckmessung im klinisch-pharmakologischen Labor, Dissertaion LMU München, 1983
- 10.) Enkema, L.Jr., et al., Laser Doppler Velocimetry vs Heater Power as Indikators of Skin Perfusion during Transcutaneous O2 Monitoring, Clin. Chem., 27/3, 1981, S. 391 - 396.
- 11.) Enzler, M.A., Waelchi-Suter, C., Perren, S.M., Prophylaxe der Pseudarthrose durch magnetische Stimulation ?, Unfallheilkunde, 83, 1980, S. 188 - 194.
- 12.) Evans, M., Pollock, A.V., A score system for evaluating random control clinical trials of prophylaxis of abdominal surgical wound infection, British Journal of Surgery, Vol. 72, 1985, S. 256 - 260.
- 13.) Ferris, B. G., Control of Periphral Blood Flow: Responses in the Human Hand when Extremities are warmed, American Journal of Physiology, 1947, 150, S. 304 - 314.
- 14.) Greenfield, A.D.M., Whitney R.J., Mowbray, J.F., Methods for the investigation of periphral blood flow, Brit. med. Bull., Vol 19, No. 2, 1963, S. 101 - 109.
- 15.) Haimovici, N., Negoescu, M., Beeinflußung der Kallusbildung unter Behandlung mit niederfrequenten gepulsten Magnetfeldern, Therapiewoche, 30, 1980, S. 4619 - 4631.
- 16.) Haimovici, N., Vier Jahre Erfahrung mit der niederfrequenten gepulsten Magnetfeldtherapie bei Erkrankungen und Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparates, Therapie-

woche, 31, 1981, S. 7317 - 7330.

17.) Hale, R. A., Burch, G. E., The Arteriovenous Anastomoses and Blood Vessels of the Human Finger, Medicine, 1960, 39, S. 191 - 240.

18.) Hiss, E., Hasenpflug, J., Untersuchung zur elektrischen Funktion von Geräten für die Magnetfeldtherapie, in Hackenbroch M. H., Refior, H. J., Jäger, M. (Hrsg.), Osteogenese und Knochenwachstum, Thieme, Stuttgart, 1982, S. 72 - 76.

19.) Hiss, E., Technische Anmerkungen zur Magnetfeldtherapie, Orthopäde, 1984, 13, S. 93 - 96.

20.) Hsieh, C.A.L., The cutaneous Circulation, aus The peripheral Circulation, Herausgeber Robert Zelis, Grune and Stratton New York, 1975, S. 79 - 95.

21.) Huch, R., Huch, A., Transcutane Überwachung des arteriellen Po₂ in der Anästhesie. Einsatzfähigkeit der Methode am Beispiel von Kurznarkosen, Anaesthesist, 23, 1974, S. 181 - 185.

22.) Huch, A., Lübbers, D.W., Huch, R., Der periphere Perfusionsdruck: Eine neue nicht-invasive Meßgröße zur Kreislaufüberwachung von Patienten, Anaesthesist, 24, 1975, S. 39 - 40.

23.) Keller, H.P., Klaue, P., Die transcutane PO₂- Messung zur objektiven Verlaufskontrolle von gestielten Hautlappen, Med. Welt., Bd. 31, Heft 15, 1980, S. 556 - 557.

24.) Knahr, K., Dutter, A., Der Einfluß von Magnetfeldern (Magnetodyn) auf maligne Geschwülste der Maus, Med.-orthop.-Technik, 4/81, S. 107 - 110.

- 25.) Kraus, W., Das Magnetodynverfahren nach KRAUS und -LECHNER, in Osteogenese und Knochenwachstum, Herausgeber M.H. Hackenbroch, H.-J. Refior, M. Jäger, Thieme Verlag, 1982, S. 105 - 109.
- 26.) Kröling, P., Schnizer, W., Zur Problematik der Magnetfeldtherapie, Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. 14, 1985, S. 177 - 198.
- 27.) Lau, B. H. S., Effects of low frequency electromagnetic field on blood circulation, NN.
- 28.) Lenzi, M., Biologische Wirkungen magnetischer Felder, Strahlentherapie, 67, 1940, S. 219 - 250.
- 29.) Leonhardt, H., Histologie, Zytologie und Mikroanatomie des Menschen, Thieme, Stuttgart, 1977, S. 298.
- 30.) Mollan, R. A. B., A Study of the Effect of Pulsed Electromagnetic Waves on the Blood Flow of a Normal Limb, Ulster Medical Journal, 1982, 51, S. 67 - 70.
- 31.) Mulay, L. N., Effect of Magnetic Field on Sarcom 37 Ascites Tumor Cells, Nature, 1961, 10, S. 1019.
- 32.) N.N., Aktuelle Traumatologie, 5/75, S. 243
- 33.) N.N., Kontron Medical, Kontinuierliche und nichtinvasive Überwachung des Sauerstoffpartialdruckes: Methodik und klinische Anwendung, Fa. Hoffmann - La Roche & Co. A.G. Abteilung Bio - Electronics Basel, Schweiz , November 1981
- 34.) N.N., Bedienungsanleitung TCM 2, Radiometer Kopenhagen.
- 35.) Parker, D., Delpy, D., Reynolds, E.O.R., Andrew, D.St., A

transcutaneous PO₂ electrode incorporating a thermal clearance local blood flow sensor, *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, Supplementum 68, 1978, S. 33 - 39.

36.) Pereira, M. R., Cellular Respiration in Intermittent Magnetic Fields, *Proc. Soc. for Exp. Biol. and Med.*, 1967, 124, S. 573 - 576.

37.) Ryan, T. J., The Blood Vessels of the Skin, in *The Physiology and Pathophysiology of the Skin*, Hrsg. Jarret A., Academic Press, New York and London, 1973, S. 577.

38.) Sachs, L., *Angewandte Statistik*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 6. Aufl. 1984, S. 242 - 243.

39.) Sibernagl, S., Despopulos, A., *Taschenbuch der Physiologie*, Thieme, Stuttgart, 1. Auflage 1979, S. 163.

40.) Schwab, H., Raum, G., Untersuchung eines Magnetfeldtherapie-Gerätes, pers. Mitteilung, 1983.

41.) Silver, I. A., Oxygen Tension and Epithelization, in *Epidermal Wound Healing*, Hrsg. Maibach, H. I., Rovee, D. T., Year Book, Chicago, 1972, S. 291 - 305.

42.) Sunder-Plassmann, L., Meßmer, K., Becker, H.M., Tissue pO₂ and transcutaneous pO₂ as guidelines in experimental and clinical drug evaluation, *Angiology Research Foundation*, 1981, S. 686 - 698.

43.) Warnke, U., Altmann, G., Die Infrarotstrahlung des Menschen als physiologischer Wirkungsindikator des niederfrequent gepulsten schwachen Magnetfeldes, *Zeitschrift für Physikalische Medizin*, 3/1979, S. 166 - 174.

44.) Warnke, U., Grundlagen zu magnetisch induzierten physiologischen Effekten, Therapiewoche, 30, 1980, S. 4609 - 4616.

45.) Warnke, U., Heilung mit Hilfe magnetischer Energie ?, Umschau, 80, 9/1980, S. 283 -284.

46.) Warnke, U., Infrarotstrahlung und Sauerstoffpartialdruck im menschlichen Oberflächengewebe als Indikator der therapeutischen Wirkung extrem niedrigfrequenter pulsierender Magnetfelder, biophysic & medicine report, 2/1981, S. 1 - 8.

7. ANHANG7.1. ROHDATAEN ZUM ERSTEN VERSUCHSDURCHGANG

Proband	Datum der Untersuchung	Uhrzeit	Drift der tc-pO ₂ -Elektrode	
			beh.	unbeh.
P1	17.8.1983	20-00	+ 5 mmHg	+ 2 mmHg
P1B	6.10.1983	20-00	- 2 mmHg	+ 5 mmHg
P2	24.8.1983	20-00	+ 1 mmHg	+ 1 mmHg
P3	30.8.1983	19-30	+ 2 mmHg	+ 4 mmHg
P4	6.9.1983	16-00	+ 1 mmHg	+ 5 mmHg
P4B	7.10.1983	16-00	- 2 mmHg	+ 7 mmHg
P5	7.9.1983	20-00	+ 3 mmHg	+ 1 mmHg
P5B	6.10.1983	17-00	+ 3 mmHg	+ 1 mmHg
P6	9.9.1983	20-00	+ 5 mmHg	+ 5 mmHg
P7	12.9.1983	19-00	0 mmHg	0 mmHg
P8	13.9.1983	19-00	+ 5 mmHg	+ 6 mmHg
P9	20.9.1983	19-00	0 mmHg	+ 4 mmHg
P10	21.9.1983	18-00	+ 4 mmHg	+ 4 mmHg
P11	23.9.1983	20-00	+ 1 mmHg	+ 1 mmHg
P11B	5.10.1983	18-30	+ 3 mmHg	+ 5 mmHg
P12	26.9.1983	19-00	+ 3 mmHg	+ 2 mmHg
P13	27.9.1983	19-00	+13 mmHg	+ 7 mmHg
P14	28.9.1983	19-30	+ 4 mmHg	+ 5 mmHg
P14B	5.10.1983	20-30	- 5 mmHg	- 3 mmHg
P15	29.9.1983	20-00	+ 4 mmHg	+ 4 mmHg
P16	4.10.1983	19-30	+ 1 mmHg	+ 1 mmHg

Probands: P1

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	31.5	0.6	32.4	0.3	125.4	3.7	116.0	2.7	12.5	1.6	5.0	1.4
MP 2	31.1	0.5	31.8	0.3	127.5	1.0	118.5	1.7	14.3	1.0	5.3	0.8
MP 3	28.9	0.6	29.7	0.6	125.0	2.9	110.1	1.0	11.0	1.5	5.9	1.0
MP 4	29.6	0.6	30.9	0.4	128.4	2.1	112.7	2.0	13.0	1.4	7.9	1.4
MP 5	30.7	0.2	31.4	0.3	120.8	1.1	112.9	1.0	14.6	1.3	7.9	0.7

Probands: P1B

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	27.2	0.6	26.8	0.3	146.9	2.0	150.9	1.6	2.5	0.7	0.0	0.9
MP 2	27.5	0.1	27.0	0.4	146.2	1.3	160.0	1.1	5.6	1.6	0.6	0.9
MP 3	31.2	1.2	31.5	1.1	150.2	1.9	162.0	2.1	4.9	2.4	7.9	0.9
MP 4	31.8	0.4	32.2	0.4	148.6	1.4	150.9	1.7	4.0	1.5	7.2	1.1
MP 5	31.9	0.2	32.6	0.3	143.6	3.2	148.6	1.0	5.5	1.6	0.5	1.3

Probands: P2

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	34.6	0.1	35.0	0.1	111.5	1.0	79.7	0.0	12.7	0.7	20.3	0.7
MP 2	34.5	0.1	34.9	0.1	110.3	1.5	79.0	1.4	13.3	0.9	20.3	0.9
MP 3	34.5	0.2	35.0	0.2	100.1	2.0	76.0	1.0	11.6	1.1	19.7	0.9
MP 4	34.2	0.2	34.5	0.1	105.3	1.7	75.4	1.0	10.7	0.7	19.3	0.7
MP 5	33.0	0.3	34.3	0.2	103.6	1.4	77.3	0.0	10.4	0.7	18.5	0.7

Probands: P3

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	34.9	0.1	35.2	0.1	103.2	3.9	95.9	2.7	4.6	0.7	5.0	1.0
MP 2	34.9	0.1	35.2	0.1	100.7	1.2	90.7	0.5	4.8	0.6	4.9	0.6
MP 3	34.0	0.1	35.1	0.1	96.4	1.0	90.9	1.0	5.2	0.7	6.2	1.5
MP 4	34.9	0.1	35.1	0.1	94.0	2.9	91.2	1.4	6.6	0.8	7.2	0.9
MP 5	34.9	0.1	35.1	0.1	90.2	1.0	90.2	1.0	7.2	0.8	7.4	0.9

Proband: P4

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aM) unbeh.		H(aM) beh.		PO2(mHg) unbeh		PO2(mHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	30.6	0.2	29.0	0.2	135.6	2.5	150.5	1.0	22.7	2.1	24.0	1.4
MP 2	30.2	0.4	29.6	0.1	136.7	1.7	150.5	0.0	24.0	0.9	25.1	0.8
MP 3	30.2	1.2	29.2	0.2	136.0	2.9	151.1	0.0	23.4	1.0	24.6	1.1
MP 4	27.6	0.2	29.0	0.0	140.1	1.9	152.5	0.0	24.1	0.8	25.7	0.7
MP 5	26.0	0.4	29.0	0.1	140.0	1.5	154.1	0.0	21.9	1.1	24.4	1.5

Proband: P4B

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aM) unbeh.		H(aM) beh.		PO2(mHg) unbeh		PO2(mHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	33.3	0.1	33.4	0.1	151.9	2.3	153.4	1.7	16.9	1.3	9.1	0.7
MP 2	32.7	0.2	32.7	0.3	150.3	1.7	151.1	1.9	18.7	0.6	0.6	0.7
MP 3	31.3	0.6	30.9	0.7	152.9	2.3	152.0	2.3	17.3	1.0	7.0	0.9
MP 4	32.2	0.2	29.9	0.2	152.7	2.5	156.1	2.0	18.4	0.6	7.4	0.7
MP 5	31.9	0.2	29.3	0.3	140.1	1.4	156.3	1.2	10.2	0.8	7.1	0.8

Proband: P5

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aM) unbeh.		H(aM) beh.		PO2(mHg) unbeh		PO2(mHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	32.2	0.2	31.7	0.3	153.3	2.4	136.5	1.7	9.9	1.5	2.9	0.7
MP 2	32.3	0.4	31.5	0.6	153.9	2.1	139.2	1.9	10.4	1.4	3.9	0.4
MP 3	31.9	0.4	31.2	0.5	159.9	2.1	142.4	1.4	9.2	2.5	4.7	0.7
MP 4	30.6	0.2	29.6	0.3	150.6	1.4	145.0	1.4	6.0	1.2	4.1	0.7
MP 5	30.8	0.2	29.1	0.2	157.3	1.2	147.6	1.2	3.0	2.3	4.1	0.6

Proband: P5B

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aM) unbeh.		H(aM) beh.		PO2(mHg) unbeh		PO2(mHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	33.9	0.4	34.0	0.3	150.0	1.7	140.0	1.4	2.4	1.8	4.2	0.7
MP 2	33.0	0.2	34.0	0.2	140.9	2.0	146.0	1.8	2.9	1.0	3.9	0.7
MP 3	34.0	0.2	34.1	0.2	149.5	1.5	144.4	1.2	3.4	0.7	3.2	1.0
MP 4	33.7	0.2	34.2	0.2	152.3	1.9	142.5	1.0	2.3	0.7	2.5	0.7
MP 5	33.0	0.1	34.4	0.1	149.3	2.2	140.7	1.5	2.2	0.4	1.9	0.6

Probands: P6

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	30.7	1.6	31.6	1.5	144.9	2.9	144.5	4.0	17.0	2.9	13.0	1.8
MP 2	32.3	0.8	32.3	1.0	139.9	2.1	139.5	3.1	16.4	0.8	15.4	0.9
MP 3	31.9	1.0	32.0	1.1	137.0	2.6	139.3	2.7	17.1	2.1	14.4	2.0
MP 4	32.4	0.4	32.1	0.5	135.1	2.3	140.5	3.9	17.7	1.1	13.0	1.6
MP 5	32.5	0.9	32.0	1.1	132.5	3.5	139.6	1.0	18.8	1.5	12.1	1.7

Probands: P7

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	33.7	0.2	34.2	0.1	143.6	1.3	148.3	2.0	8.0	1.0	5.2	0.7
MP 2	33.5	0.1	33.9	0.1	144.4	0.9	151.4	1.3	7.4	1.3	5.0	0.5
MP 3	33.1	0.3	33.5	0.3	145.0	2.7	145.3	3.6	7.3	2.0	4.7	0.8
MP 4	33.2	0.3	33.3	0.2	142.9	7.5	146.8	1.6	8.3	1.0	4.5	0.8
MP 5	33.0	0.1	33.3	0.1	145.5	1.1	152.8	2.7	7.3	1.3	5.1	0.6

Probands: P8

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	33.6	0.1	34.2	0.2	128.4	1.9	151.9	0.9	5.5	0.6	5.9	0.7
MP 2	33.5	0.2	34.1	0.2	127.7	2.4	156.1	2.3	5.3	0.8	5.2	0.6
MP 3	33.1	0.2	33.8	0.2	125.5	1.1	153.3	1.0	6.0	0.6	5.5	0.7
MP 4	33.1	0.2	33.5	0.2	126.1	1.1	155.3	0.9	4.8	0.8	4.6	1.0
MP 5	32.9	0.2	33.4	0.2	125.1	1.5	157.8	1.2	5.1	0.5	4.1	0.8

Probands: P9

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	33.7	0.5	33.9	0.3	132.9	2.9	135.0	2.7	6.8	0.8	8.4	0.7
MP 2	33.5	0.5	33.8	0.1	127.7	3.6	129.3	1.4	7.1	1.2	8.0	1.3
MP 3	32.8	0.7	33.5	0.3	126.5	1.9	127.6	2.7	5.6	1.3	6.8	0.8
MP 4	33.4	0.4	33.7	0.1	127.8	1.5	128.5	2.1	5.6	0.8	8.3	0.9
MP 5	32.9	0.3	33.0	0.2	125.9	2.5	125.7	1.9	4.4	1.0	6.6	0.8

Proband: P10

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mm) unbeh.		H(mm) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	28.8	0.2	30.2	0.3	141.3	1.7	132.0	1.7	12.3	1.3	4.7	0.6
MP 2	27.9	0.3	29.4	0.2	143.3	2.2	131.0	1.1	11.8	2.3	5.2	1.0
MP 3	26.7	0.4	28.9	0.5	146.8	3.4	137.3	3.6	14.9	2.2	5.2	1.0
MP 4	26.7	0.4	30.0	0.6	148.1	1.8	162.9	2.3	19.8	1.8	6.2	1.1
MP 5	30.5	1.5	32.5	0.6	148.5	1.8	168.2	2.7	19.9	1.4	7.9	1.6

Proband: P11

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mm) unbeh.		H(mm) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	35.1	0.1	35.2	0.1	147.0	4.2	126.4	2.2	17.1	0.8	15.2	0.9
MP 2	35.0	0.1	35.2	0.1	144.4	1.7	126.1	1.1	16.3	1.3	16.5	1.1
MP 3	34.8	0.2	34.9	0.2	146.3	2.1	127.8	1.6	15.7	0.8	15.3	1.0
MP 4	34.9	0.1	35.0	0.1	149.1	4.0	129.9	2.3	15.9	1.3	15.8	1.1
MP 5	34.5	0.2	34.8	0.2	146.0	2.6	138.4	1.8	15.1	1.5	16.1	1.1

Proband: P11B

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mm) unbeh.		H(mm) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	34.2	0.2	33.7	0.1	129.0	2.1	94.5	1.4	16.2	0.8	13.8	2.9
MP 2	34.1	0.2	33.9	0.2	127.7	1.8	92.8	1.7	16.2	1.1	12.4	1.0
MP 3	33.7	0.3	33.4	0.4	124.9	2.3	91.2	1.4	14.2	1.5	13.8	1.4
MP 4	33.8	0.3	33.8	0.2	125.1	0.9	90.0	1.5	13.4	0.9	13.8	1.0
MP 5	34.0	0.3	34.0	0.3	124.6	0.9	88.8	2.0	12.5	1.1	15.4	2.6

Proband: P12

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mm) unbeh.		H(mm) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	33.0	0.3	33.9	0.3	127.4	1.6	129.0	1.2	18.0	0.9	15.3	0.7
MP 2	33.0	0.3	33.7	0.5	128.1	2.6	131.8	2.7	18.9	1.2	16.4	0.8
MP 3	33.3	0.2	33.1	0.2	126.8	3.3	142.6	9.0	20.0	0.9	18.0	1.1
MP 4	32.5	0.2	32.5	0.3	128.5	1.7	148.1	2.6	21.0	1.8	17.2	1.0
MP 5	32.5	0.1	32.7	0.2	129.4	1.6	131.2	9.0	19.9	1.0	18.2	1.6

Proband: P13

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	24.7	0.2	25.4	0.2	141.5	0.8	139.3	3.3	4.6	1.2	6.1	0.8
MP 2	24.1	0.1	25.0	0.1	143.3	1.5	142.7	3.1	4.8	1.2	5.6	1.4
MP 3	23.6	0.2	24.7	0.1	149.2	2.2	147.9	3.9	6.5	2.2	9.3	3.5
MP 4	23.4	0.0	24.3	0.1	150.2	2.6	162.7	1.9	9.6	2.2	10.9	1.5
MP 5	23.4	0.0	24.0	0.1	146.4	1.9	160.5	4.9	7.0	2.6	10.2	1.1

Proband: P14

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	33.2	0.5	33.4	0.2	137.8	2.7	126.0	4.2	11.2	0.7	11.5	2.1
MP 2	34.2	0.2	34.1	0.2	134.0	1.6	122.2	2.3	12.1	0.7	12.2	1.0
MP 3	34.2	0.5	34.3	0.4	128.0	1.0	110.5	2.9	12.0	0.7	11.2	1.0
MP 4	34.2	0.5	34.4	0.4	124.2	1.8	120.6	1.4	12.1	0.9	11.9	1.9
MP 5	34.4	0.3	34.4	0.3	121.5	1.5	123.3	3.4	12.6	0.7	11.5	2.0

Proband: P14B

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	32.0	0.4	32.1	0.5	141.2	1.3	130.0	0.9	6.0	1.7	3.9	0.9
MP 2	32.7	0.6	32.0	0.7	143.0	3.1	130.9	3.3	7.4	1.0	3.9	1.0
MP 3	32.7	0.5	32.3	0.5	143.2	2.2	132.1	2.2	6.9	1.0	4.0	0.9
MP 4	33.0	0.5	32.8	0.3	143.2	3.0	136.1	2.7	6.3	1.5	4.2	1.3
MP 5	33.0	0.5	31.7	0.7	139.8	2.3	131.7	2.0	4.7	1.3	4.2	0.9

Proband: P15

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		PO2(mmHg) unbeh		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	35.1	0.1	35.5	0.2	96.2	0.9	125.7	1.4	12.1	0.9	10.3	0.5
MP 2	35.0	0.1	35.3	0.2	95.0	0.7	122.0	0.9	9.9	1.6	10.6	0.9
MP 3	35.2	0.1	35.3	0.1	94.0	1.0	119.6	2.4	10.2	1.4	11.2	0.7
MP 4	35.0	0.1	35.1	0.2	87.3	3.0	115.7	1.3	5.0	1.1	0.0	0.6
MP 5	34.0	0.2	34.0	0.1	81.3	0.7	110.6	2.1	4.7	0.6	0.4	0.5

Probandi P16

	T(C) unbeh.		T(C) beh.		H(mm) unbeh.		H(mm) beh.		PO2(mmHg) unbeh.		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
MP 1	28.0	0.3	26.0	0.2	132.0	0.9	137.6	1.2	13.4	1.4	5.4	3.5
MP 2	29.5	0.5	28.2	0.5	133.2	2.0	142.4	1.5	16.1	0.8	11.4	3.4
MP 3	26.9	0.7	25.7	0.8	129.2	3.7	141.2	1.9	16.6	1.7	6.8	1.7
MP 4	25.7	0.4	24.5	0.3	135.0	1.2	145.4	3.5	17.2	1.2	7.8	0.9
MP 5	24.9	0.1	23.7	0.2	132.7	1.3	137.7	2.5	17.4	0.9	0.3	1.3

Ober- und Unterarmtemperatur: Mittelwert/Standardabweichung
in Grad Celsius

Proband P1

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	31.5 / 0.1	31.7 / 0.1	29.7 / 0.1	30.2 / 0.1
2	31.3 / 0.1	31.4 / 0.1	29.6 / 0.1	30.1 / 0
3	31.1 / 0.2	31.2 / 0.1	29.3 / 0.1	30.0 / 0.1
4	30.7 / 0.1	31.4 / 0	29.3 / 0.1	30.1 / 0
5	30.6 / 0.1	31.3 / 0.2	29.4 / 0	30.2 / 0.1

Proband P1B

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	29.6 / 0	30.0 / 0.1	29.7 / 0.1	30.9 / 0.1
2	29.3 / 0.1	29.8 / 0	29.6 / 0	31.0 / 0.1
3	29.0 / 0.2	29.6 / 0.1	29.5 / 0.1	30.9 / 0.1
4	28.8 / 0.1	29.4 / 0	29.7 / 0.1	30.9 / 0
5	28.8 / 0.1	29.4 / 0	29.7 / 0.1	30.7 / 0.1

Proband P2

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	33.7 / 0	33.7 / 0	32.7 / 0.1	33.3 / 0.1
2	33.7 / 0	33.7 / 0	32.6 / 0.1	33.2 / 0.1
3	33.7 / 0.1	33.8 / 0.1	32.4 / 0.1	33.0 / 0.1
4	33.8 / 0	33.7 / 0	32.4 / 0.1	32.9 / 0
5	33.8 / 0.1	33.6 / 0.1	32.3 / 0.1	32.9 / 0

Proband P3

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	33.3 / 0.2	32.2 / 0.1	32.7 / 0.1	34.0 / 0.2
2	33.5 / 0.1	32.2 / 0	32.5 / 0.1	34.3 / 0.1
3	33.6 / 0.1	32.2 / 0.1	32.4 / 0	34.4 / 0.1
4	33.7 / 0.1	32.2 / 0	32.2 / 0.1	34.4 / 0.1
5	33.9 / 0	32.2 / 0	32.2 / 0	34.4 / 0

Proband P4

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.1 / 0	29.1 / 0.1	28.6 / 0.1	30.2 / 0.1
2	30.1 / 0	28.6 / 0.1	28.5 / 0.2	30.1 / 0
3	30.1 / 0	28.8 / 0.1	28.3 / 0.1	30.1 / 0.1
4	29.9 / 0.2	27.0 / 0.3	28.1 / 0.1	29.8 / 0.1
5	29.8 / 0	26.2 / 0.2	28.2 / 0.1	24.8 / 0.1

Proband P4B

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.7 / 0.1	30.7 / 0.1	31.4 / 0.1	30.5 / 0
2	30.5 / 0	30.6 / 0.1	31.4 / 0	30.4 / 0.1
3	30.2 / 0.2	30.2 / 0.2	31.0 / 0.2	30.2 / 0.1
4	29.7 / 0.2	30.0 / 0.2	30.8 / 0.1	30.0 / 0.2
5	29.7 / 0.1	29.8 / 0	30.9 / 0.1	29.9 / 0.1

Proband P5

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	23.4 / 0.1	32.0 / 0.1	30.3 / 0.1	31.6 / 0.1
2	23.5 / 0.1	31.9 / 0.1	30.0 / 0.2	31.4 / 0.1
3	23.4 / 0	31.7 / 0.1	29.6 / 0.1	31.2 / 0.2
4	23.5 / 0.1	31.5 / 0.1	29.6 / 0	30.9 / 0
5	23.7 / 0.1	31.4 / 0.1	29.6 / 0	30.8 / 0.1

Proband P5B

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	23.5 / 0.1	24.0 / 0.1	29.9 / 0.2	30.9 / 0.1
2	23.4 / 0.1	24.0 / 0.1	29.7 / 0.1	30.7 / 0.1
3	23.7 / 0.1	23.9 / 0.1	29.1 / 0.4	30.3 / 0.1
4	23.3 / 0.2	24.0 / 0.1	27.8 / 0.6	30.3 / 0.1
5	23.3 / 0.1	24.0 / 0	26.8 / 0.7	30.1 / 0.1

Proband P6

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.4 / 0.1	30.7 / 0.1	30.5 / 0.1	30.5 / 0
2	30.2 / 0.1	31.0 / 0.1	30.6 / 0.1	30.5 / 0
3	30.0 / 0.1	31.0 / 0.1	30.7 / 0.1	30.6 / 0.1
4	30.0 / 0.1	31.0 / 0.1	31.0 / 0.2	30.7 / 0
5	30.1 / 0.1	31.1 / 0.1	31.3 / 0.1	30.7 / 0.1

Proband P7

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.0 / 0.2	30.7 / 0.1	32.9 / 0.1	30.9 / 0.2
2	29.9 / 0.2	30.8 / 0.1	32.6 / 0.1	31.0 / 0.1
3	29.3 / 0.2	31.3 / 0.2	32.5 / 0.1	30.5 / 0.3
4	29.0 / 0.2	30.9 / 0.4	32.4 / 0	30.4 / 0.1
5	29.1 / 0.2	30.7 / 0.3	32.4 / 0.1	30.3 / 0.1

Proband P8

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.4 / 0.1	30.7 / 0.1	24.6 / 0.4	30.7 / 0.1
2	30.2 / 0.1	30.7 / 0	25.0 / 0.3	30.7 / 0
3	30.1 / 0.1	30.8 / 0.1	25.1 / 0.3	30.8 / 0.1
4	29.8 / 0.1	30.6 / 0.1	25.3 / 0.3	30.6 / 0.1
5	29.7 / 0.1	30.3 / 0	25.3 / 0.3	30.3 / 0

Proband P9

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	31.3 / 0.3	31.2 / 0.2	31.2 / 0.1	31.4 / 0.1
2	31.6 / 0.1	31.6 / 0	30.9 / 0	31.2 / 0.1
3	31.5 / 0.1	31.7 / 0.1	30.6 / 0.1	30.9 / 0.1
4	31.6 / 0.1	31.7 / 0	30.3 / 0.1	30.7 / 0
5	31.5 / 0.1	31.6 / 0	30.3 / 0.1	30.6 / 0.1

Proband P10

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.6 / 0.1	30.9 / 0.1	30.6 / 0.1	29.9 / 0.1
2	30.4 / 0.1	30.7 / 0	30.3 / 0	29.8 / 0.1
3	30.5 / 0.1	30.4 / 0.1	30.0 / 0	29.6 / 0.1
4	30.3 / 0	30.0 / 0	29.7 / 0.1	29.3 / 0.1
5	30.4 / 0.1	30.1 / 0.2	29.8 / 0.1	29.2 / 0

Proband P11

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	32.6 / 0	33.5 / 0.1	30.9 / 0.1	30.2 / 0.1
2	32.6 / 0	33.6 / 0.1	30.7 / 0.1	30.1 / 0.1
3	32.6 / 0	33.4 / 0.1	30.5 / 0.1	29.8 / 0.1
4	32.5 / 0.1	33.3 / 0.1	30.4 / 0.1	29.6 / 0.1
5	32.6 / 0.1	33.3 / 0.1	30.3 / 0.1	29.7 / 0.1

Proband P11B

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	31.6 / 0	33.2 / 0.2	30.8 / 0.1	31.5 / 0.1
2	31.6 / 0	33.5 / 0.1	30.9 / 0.1	31.2 / 0.1
3	31.7 / 0.1	33.5 / 0	30.9 / 0.2	31.1 / 0.1
4	31.8 / 0	33.6 / 0.1	30.9 / 0.6	30.9 / 0
5	31.9 / 0.1	33.6 / 0.1	30.9 / 0.3	31.1 / 0

Proband P12

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	32.9 / 0.1	32.0 / 0.1	29.5 / 0.1	31.3 / 0.2
2	33.0 / 0.1	32.1 / 0.1	29.6 / 0.3	30.9 / 0.2
3	32.7 / 0.2	32.1 / 0.1	29.5 / 0.1	29.7 / 0.7
4	32.6 / 0.1	32.2 / 0.2	29.4 / 0.1	29.2 / 0.1
5	32.7 / 0.2	32.2 / 0	29.3 / 0.1	29.0 / 0.1

Proband P13

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.8 / 0.1	31.3 / 0.2	30.6 / 0.1	30.5 / 0.1
2	30.7 / 0.1	31.1 / 0	30.4 / 0.1	30.2 / 0.1
3	30.6 / 0.1	31.0 / 0	30.3 / 0.1	29.8 / 0.2
4	30.7 / 0	30.9 / 0.4	30.3 / 0	29.6 / 0.1
5	30.9 / 0.1	30.7 / 0.2	30.3 / 0	29.4 / 0.3

Proband P14

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	32.2 / 0.1	30.6 / 0.9	33.1 / 0.1	33.1 / 0
2	32.6 / 0.1	30.3 / 1.1	33.0 / 0.1	33.1 / 0
3	32.9 / 0.2	30.3 / 1.8	32.8 / 0.2	33.1 / 0.1
4	33.2 / 0.1	31.4 / 0.7	32.6 / 0	32.9 / 0.1
5	33.1 / 0.1	31.9 / 0.4	32.6 / 0.1	32.9 / 0.1

Proband P14B

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	31.4 / 0	31.8 / 0.2	31.4 / 0.1	31.1 / 0.1
2	31.2 / 0.1	31.9 / 0.1	31.1 / 0	31.1 / 0.1
3	31.1 / 0.1	31.7 / 0.1	30.9 / 0.1	31.1 / 0.1
4	31.1 / 0.1	31.6 / 0.2	30.7 / 0	31.1 / 0.1
5	31.1 / 0.1	31.4 / 0.3	30.7 / 0.1	31.1 / 0.2

Proband P15

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	34.2 / 0	30.2 / 0.3	32.6 / 0.1	33.4 / 0.1
2	34.2 / 0	30.3 / 0.6	32.5 / 0.1	33.5 / 0
3	34.2 / 0	30.4 / 0.5	32.4 / 0	33.6 / 0.1
4	34.3 / 0.1	31.1 / 0.3	32.4 / 0.1	33.7 / 0
5	34.4 / 0	31.5 / 0.2	32.4 / 0	33.9 / 0.1

Proband P16

MP	TUAB	TUAU	TOAB	TOAU
1	30.6 / 0.1	27.2 / 1.0	30.9 / 0	32.1 / 0.1
2	30.5 / 0	28.6 / 0.5	30.7 / 0.1	32.0 / 0.1
3	30.4 / 0.1	29.1 / 0.2	30.6 / 0.1	31.6 / 0.2
4	30.1 / 0.1	29.7 / 0.8	30.3 / 0.1	31.3 / 0.2
5	30.2 / 0.1	30.7 / 0.1	30.3 / 0	31.6 / 0

Meßphase 1

	T(C) unbeh.	T(C) beh.	H(mw) unbeh.	H(mw) beh.	PO2(mwHg) unbeh.	PO2(mwHg) beh.
P1	31.5	32.4	125.4	116.0	12.5	5.0
P1B	27.2	26.0	146.9	150.9	2.5	8.0
P2	34.6	35.0	111.5	79.7	12.7	20.3
P3	34.9	35.2	103.2	95.9	4.6	5.0
P4	30.6	29.8	135.6	150.5	22.7	24.0
P4B	33.3	33.4	151.9	153.4	16.9	9.1
P5	32.2	31.7	153.3	136.5	9.9	2.9
P5B	33.9	34.0	150.8	148.0	2.4	4.2
P6	30.7	31.6	144.9	144.5	17.0	13.0
P7	33.7	34.2	143.6	148.3	8.0	5.2
P8	33.6	34.2	128.4	151.9	5.5	5.9
P9	33.7	33.9	132.9	135.0	6.8	8.4
P10	28.8	30.2	141.3	152.0	12.3	4.7
P11	25.1	25.2	147.0	126.4	17.1	15.2
P11B	24.2	33.7	129.0	94.5	16.2	13.0
P12	22.8	33.9	127.4	129.0	18.0	15.3
P13	24.7	25.4	141.5	139.3	4.6	6.1
P14	22.2	33.4	137.8	126.0	11.2	11.5
P14B	32.8	32.1	141.2	130.0	6.0	3.9
P15	35.1	35.5	96.2	129.7	12.1	10.3
P16	28.0	26.8	132.8	127.6	13.4	5.4
Mittelwert	32.2	32.3	134.4	122.4	11.1	9.4
Standardabw.	2.9	2.9	15.4	21.2	5.7	5.7

Meßphase 2

	T(C) unbeh.	T(C) beh.	H(mw) unbeh.	H(mw) beh.	PO2(mwHg) unbeh.	PO2(mwHg) beh.
P1	31.1	31.8	127.5	118.5	14.3	5.5
P1B	27.5	27.0	146.2	160.0	5.6	8.6
P2	24.5	34.9	110.3	79.0	13.3	20.3
P3	24.9	35.2	100.7	90.7	4.8	4.9
P4	30.2	29.6	136.7	150.5	24.0	25.1
P4B	22.7	32.7	150.3	151.1	10.7	8.6
P5	32.3	31.5	153.9	139.2	10.4	3.9
P5B	33.8	34.0	148.9	146.0	2.9	3.9
P6	32.3	32.3	139.9	139.5	16.4	15.4
P7	33.5	33.9	144.4	151.4	7.4	5.0
P8	33.5	34.1	127.7	156.1	5.3	5.2
P9	33.5	33.8	127.7	129.3	7.1	8.0
P10	27.9	29.4	143.3	151.0	11.8	5.2
P11	35.0	35.2	144.4	126.1	16.3	16.5
P11B	24.1	33.9	127.7	92.8	16.2	12.4
P12	33.8	33.7	128.1	131.8	10.9	16.4
P13	24.1	25.0	143.3	142.7	4.8	5.6
P14	24.2	34.1	134.0	122.2	12.1	12.2
P14B	32.7	32.0	143.0	130.9	7.4	3.9
P15	35.0	35.3	95.0	122.0	9.9	10.6
P16	29.5	28.2	133.2	142.4	16.1	11.4
Mittelwert	32.2	32.3	133.6	132.1	11.6	9.9
Standardabw.	2.9	2.9	15.7	22.2	5.7	6.0

Meßphase 3

	T(°C) unbeh.	T(°C) beh.	H(mmW) unbeh.	H(mmW) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
P1	28.9	29.7	123.0	118.1	11.8	5.9
P10	31.2	31.5	130.2	162.8	4.9	7.9
P2	34.5	35.0	108.1	76.0	11.6	19.7
P3	34.8	35.1	96.4	90.9	5.2	6.2
P4	38.2	29.2	136.8	151.1	23.4	24.6
P40	31.3	30.9	152.9	152.8	17.3	7.0
P5	31.9	31.2	159.9	142.4	9.2	4.7
P50	34.0	34.1	149.5	144.4	3.4	3.2
P6	31.9	32.0	137.8	139.3	17.1	14.4
P7	33.1	33.5	145.0	145.3	7.3	4.7
P8	33.1	33.8	125.5	153.3	6.8	5.5
P9	32.8	33.5	126.5	127.6	5.6	6.8
P10	26.7	28.9	146.8	157.3	14.9	5.2
P11	34.8	34.9	146.3	127.8	15.7	15.3
P110	33.7	33.4	124.9	91.2	14.2	13.8
P12	33.3	33.1	126.8	142.6	28.0	18.8
P13	23.6	24.7	149.2	147.9	6.5	9.3
P14	34.2	34.3	128.8	118.5	12.8	11.2
P140	32.7	32.3	143.2	132.1	6.9	4.0
P15	25.2	25.3	94.8	119.6	18.2	11.2
P16	26.9	25.7	129.2	141.2	16.6	6.8
Mittelwert	31.8	32.0	133.4	122.4	11.4	9.8
Standardabw.	3.0	3.8	17.8	22.2	5.6	5.8

Meßphase 4

	T(°C) unbeh.	T(°C) beh.	H(mmW) unbeh.	H(mmW) beh.	PO2 (mmHg) unbeh.	PO2 (mmHg) beh.
P1	29.6	30.9	128.4	112.7	13.0	7.9
P10	31.8	32.2	148.6	158.9	4.8	7.2
P2	34.2	34.5	105.3	76.4	18.7	19.3
P3	34.9	35.1	94.8	91.2	6.6	7.2
P4	27.6	29.0	140.1	152.5	24.1	25.7
P40	32.2	29.9	152.7	156.1	18.4	7.4
P5	30.6	29.6	158.6	145.8	6.8	4.1
P50	33.7	34.2	152.3	142.5	2.3	2.5
P6	32.4	32.1	135.1	148.5	17.7	13.8
P7	33.2	33.3	142.9	146.8	8.3	4.5
P8	33.1	33.5	126.1	155.3	4.8	4.6
P9	33.4	33.7	127.8	128.5	5.6	8.3
P10	26.7	30.0	148.1	162.9	19.8	6.2
P11	34.9	35.0	149.1	129.9	15.9	15.8
P110	33.8	33.8	125.1	98.8	13.4	13.8
P12	32.5	32.5	128.5	148.1	21.8	17.2
P13	23.4	24.3	158.2	162.7	9.6	18.9
P14	34.2	34.4	124.2	128.6	12.1	11.9
P140	33.0	32.8	143.2	156.1	6.3	4.2
P15	25.8	25.1	87.3	115.7	5.8	8.8
P16	25.7	24.5	135.8	145.4	17.2	7.8
Mittelwert	31.7	31.9	133.4	134.1	11.5	10.3
Standardabw.	3.3	3.1	19.2	25.8	6.4	6.2

Meßphase 5

	T (C) unbeh.	T (C) beh.	H (mm) unbeh.	H (mm) beh.	PO2 (mmHg) unbeh.	PO2 (mmHg) beh.
P1	30.7	31.4	128.8	112.9	14.6	7.9
P18	31.9	32.6	143.6	148.6	3.5	8.5
P2	33.8	34.3	183.6	77.3	18.4	18.5
P3	34.9	35.1	98.2	98.2	7.2	7.4
P4	26.8	29.0	148.0	154.1	21.9	24.4
P48	31.9	29.3	148.1	156.3	18.2	7.1
P5	30.8	29.1	157.3	147.6	3.8	4.1
P58	33.8	34.4	149.3	148.7	2.2	1.9
P6	32.5	32.0	132.5	139.6	18.8	12.1
P7	33.0	33.3	145.5	152.8	7.3	5.1
P8	32.9	33.4	125.1	157.8	5.1	4.1
P9	32.9	33.8	125.9	125.7	4.4	6.6
P10	30.5	32.5	148.5	168.2	19.9	7.9
P11	34.5	34.8	146.8	138.4	15.1	16.1
P118	34.8	34.8	124.6	88.8	12.5	15.4
P12	32.5	32.7	129.4	131.2	19.9	18.2
P17	33.4	24.0	146.4	168.5	7.8	18.2
P14	34.4	34.4	121.5	123.3	12.6	11.5
P148	33.0	31.7	139.8	131.7	4.7	4.2
P15	34.8	34.8	81.3	118.6	4.7	8.4
P16	24.9	23.7	132.7	137.7	17.4	8.3
Mittelwert	31.8	31.9	131.4	137.8	11.1	10.3
Standardabw.	3.2	3.2	19.6	25.5	6.4	6.8

Differenz der Mittelwerte: MP 1 - MP 2

	T(C) unbeh	T(C) beh	H(aM) unbeh	H(aM) beh	PO2(aHg) unbeh	PO2(aHg) beh
Proband P1	0.6	0.4	-2.5	-2.1	-0.5	-1.0
Proband P10	-0.2	-0.3	-1.9	0.7	-0.6	-3.1
Proband P2	0.1	0.1	0.7	1.2	0.1	-0.5
Proband P3	0.0	0.0	5.2	2.5	1.0	-0.2
Proband P4	0.3	0.4	0.0	-1.0	-1.1	-1.2
Proband P40	0.7	0.6	2.3	1.6	0.5	-1.7
Proband P5	0.2	-0.0	-2.7	-0.6	-1.0	-0.5
Proband P50	0.0	0.0	2.9	1.9	0.3	-0.4
Proband P6	-0.6	-1.5	5.1	5.0	-2.4	0.6
Proband P7	0.2	0.2	-3.0	-0.8	0.3	0.6
Proband P8	0.1	0.1	-4.1	0.7	0.7	0.2
Proband P9	0.1	0.2	5.7	5.2	0.5	-0.3
Proband P100	3.0	0.9	1.0	-2.0	-0.5	0.5
Proband P11	0.1	0.1	0.3	2.6	-1.3	0.9
Proband P110	-0.1	0.1	1.7	1.3	1.4	0.0
Proband P12	-0.0	0.3	-0.7	-2.0	-0.9	-1.0
Proband P13	0.4	0.6	-3.4	-1.7	0.5	-0.2
Proband P14	-0.7	-1.0	3.0	3.0	-0.7	-0.8
Proband P140	0.1	0.1	-0.9	-1.0	0.0	-1.4
Proband P15	3.2	0.1	3.7	1.2	-0.3	2.2
Proband P16	-1.3	-1.5	-4.0	-0.4	-6.0	-2.7

Differenz der Mittelwerte: MP 2 - MP 3

	T(C) unbeh	T(C) beh	H(aM) unbeh	H(aM) beh	PO2(aHg) unbeh	PO2(aHg) beh
Proband P1	2.1	2.2	2.4	2.5	-0.5	2.6
Proband P10	-4.4	-3.7	-1.2	-4.1	0.0	0.7
Proband P2	-0.0	-0.0	3.0	2.2	0.6	1.7
Proband P3	0.0	0.1	-0.2	4.3	-1.3	-0.4
Proband P4	0.3	-0.1	-0.6	0.7	0.4	0.6
Proband P40	1.9	1.4	-1.7	-2.7	1.6	1.3
Proband P5	0.3	0.4	-3.3	-6.0	-0.0	1.2
Proband P50	-0.1	-0.1	1.6	-0.7	0.7	-0.5
Proband P6	0.3	0.3	0.1	2.1	1.0	-0.0
Proband P7	0.4	0.3	6.1	-0.6	0.3	0.1
Proband P8	0.3	0.3	2.0	2.2	-0.4	-0.7
Proband P9	0.2	0.7	1.7	1.2	1.1	1.5
Proband P10	0.4	1.2	-6.3	-3.4	0.0	-3.1
Proband P11	0.3	0.2	-1.7	-1.9	1.3	0.6
Proband P110	0.5	0.5	1.6	2.0	-1.4	2.0
Proband P12	0.6	0.5	1.3	-10.0	-1.1	-1.6
Proband P13	0.3	0.5	-5.2	-5.9	-3.7	-1.7
Proband P14	-0.2	0.0	3.7	5.2	1.0	0.1
Proband P140	-0.3	0.0	-1.2	-0.2	-0.1	0.5
Proband P15	0.0	-0.1	2.3	1.0	-0.6	-0.3
Proband P16	2.5	2.6	1.2	4.0	4.6	-0.5

Differenz der Mittelwerte MP 3 - MP 4

	T(C) unbeh	T(C) beh	H(EM) unbeh	H(EM) beh	P02(aahg) unbeh	P02(aahg) beh
Proband P1	-1.1	-0.7	5.4	-3.3	-1.9	-1.2
Proband P10	-0.8	-0.6	3.1	1.6	0.7	0.1
Proband P2	0.4	0.3	0.7	2.9	0.4	0.9
Proband P3	0.0	-0.1	-0.3	2.4	-1.0	-1.4
Proband P4	0.2	2.7	-1.4	-4.1	-1.0	-0.6
Proband P40	0.9	-0.9	-3.3	0.2	-0.4	-1.0
Proband P5	1.6	1.3	-2.6	1.3	0.6	3.2
Proband P50	-0.1	0.2	1.9	-2.0	0.0	1.1
Proband P6	-0.1	-0.5	-1.1	2.7	1.4	-0.5
Proband P7	0.2	-0.0	-1.5	2.1	0.2	-1.0
Proband P8	0.3	0.1	-2.0	-0.6	1.0	1.2
Proband P9	-0.2	-0.7	-0.0	-1.3	-1.4	0.0
Proband P10	-1.0	0.0	-5.6	-1.3	-1.0	-4.0
Proband P11	-0.1	-0.1	-2.1	-2.0	-0.5	-0.3
Proband P110	-0.4	-0.1	1.3	-0.3	-0.0	0.0
Proband P12	0.7	0.6	-1.7	-5.5	-1.0	0.0
Proband P13	0.3	0.2	-14.0	-1.1	-9.6	-3.1
Proband P14	-0.1	-0.0	-2.1	4.6	-0.7	-0.1
Proband P140	-0.5	-0.3	-4.0	0.1	-0.2	0.6
Proband P15	0.2	0.2	4.0	6.0	2.5	5.2
Proband P16	1.2	1.2	-4.2	-5.0	-0.9	-0.6

Differenz der Mittelwerte MP 4 - MP 5

	T(C) unbeh	T(C) beh	H(EM) unbeh	H(EM) beh	P02(aahg) unbeh	P02(aahg) beh
Proband P1	-0.5	-1.1	-0.2	-0.4	-0.1	-1.7
Proband P10	-0.4	-0.0	10.3	5.1	-1.3	-0.0
Proband P2	0.2	0.4	-1.9	1.7	0.0	0.3
Proband P3	-0.0	-0.0	1.0	3.0	-0.3	-0.6
Proband P4	0.0	0.0	-1.6	0.1	1.3	2.2
Proband P40	0.7	0.3	-0.1	4.6	0.3	0.1
Proband P5	0.5	-0.3	-2.6	1.4	0.0	2.3
Proband P50	-0.1	-0.1	1.0	3.1	0.6	0.1
Proband P6	0.1	-0.1	0.9	2.6	0.9	-1.1
Proband P7	0.0	0.1	-6.0	-2.6	-0.6	1.1
Proband P8	0.2	0.2	-2.5	1.0	0.5	-0.3
Proband P9	0.7	0.6	2.0	1.9	1.7	1.2
Proband P10	-2.6	-3.7	-5.3	-0.4	-1.7	-0.1
Proband P11	0.2	0.4	-0.5	3.1	-0.4	0.0
Proband P110	-0.2	-0.2	1.2	0.5	-1.6	0.9
Proband P12	0.1	-0.2	-0.9	16.9	1.1	-1.0
Proband P13	0.3	0.0	-5.0	3.0	0.0	1.0
Proband P14	-0.0	-0.2	-2.7	2.0	0.4	-0.5
Proband P140	1.1	0.0	4.4	3.3	-0.0	1.6
Proband P15	0.3	0.2	5.1	6.0	0.4	0.3
Proband P16	0.0	0.0	7.7	2.4	-0.5	-0.1

Differenz der Mittelwerte: MP 1 - MP 3

	T(C) unbeh	T(C) beh	H(aW) unbeh	H(aW) beh	P02(mHg) unbeh	P02(mHg) beh
Proband P1	2.7	2.6	-2.1	0.4	-1.0	0.7
Proband P1B	-4.7	-4.0	-3.1	-3.3	0.1	-2.4
Proband P2	0.0	0.1	3.7	3.4	0.7	1.2
Proband P3	0.1	0.1	5.0	6.8	-0.4	-0.7
Proband P4	0.6	0.3	-0.6	-0.4	-0.7	-0.7
Proband P4B	2.6	2.0	0.7	-1.1	2.1	-0.4
Proband P5	0.5	0.3	-5.9	-6.6	-1.0	0.7
Proband P5B	-0.1	-0.1	4.4	1.2	1.0	-0.9
Proband P6	-0.3	-1.2	5.2	7.1	-1.4	-0.1
Proband P7	0.6	0.5	3.1	-1.4	0.6	0.7
Proband P8	0.4	0.4	-1.4	2.9	0.3	-0.5
Proband P9	0.3	0.9	7.4	6.4	1.6	1.2
Proband P10	1.2	2.0	-5.3	-5.4	-0.5	-2.6
Proband P11	0.5	0.3	-1.4	0.7	-0.0	1.5
Proband P11B	0.4	0.5	3.3	4.2	-0.0	2.0
Proband P12	0.5	0.0	0.6	-13.6	-2.0	-2.6
Proband P13	0.7	1.1	-0.5	-7.6	-3.2	-1.9
Proband P14	-0.9	-1.0	7.6	9.0	0.3	-0.7
Proband P14B	-0.2	0.1	-2.1	-2.0	-0.1	-0.9
Proband P15	0.2	-0.1	6.0	2.2	-0.9	1.9
Proband P16	1.1	1.1	-3.6	3.6	-1.4	-3.2

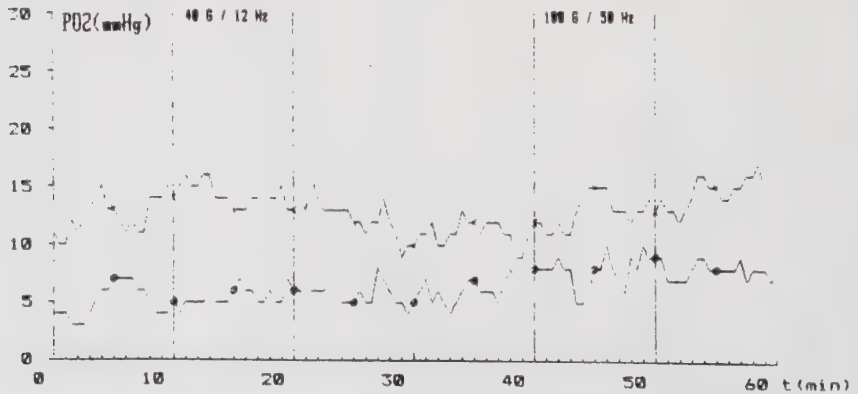
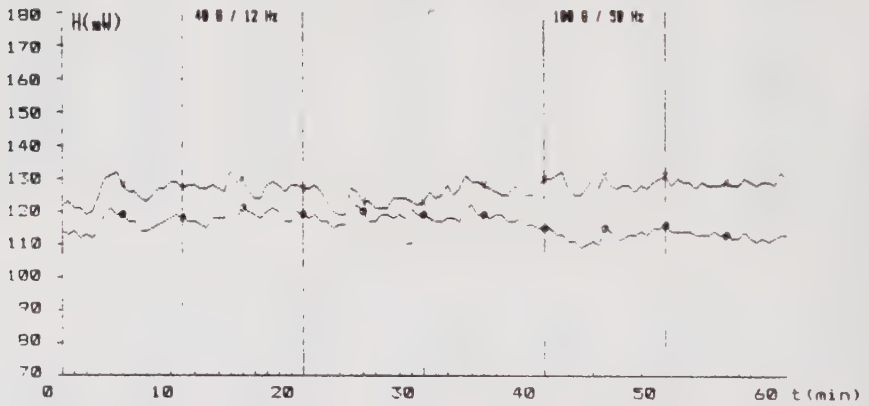
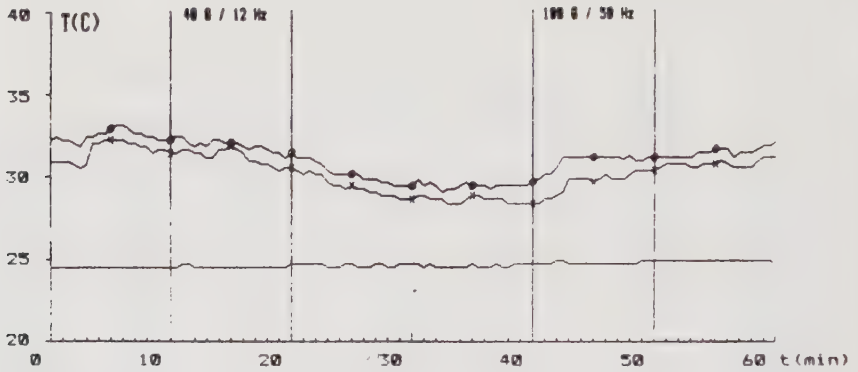
Differenz der Mittelwerte: MP 3 - MP 5

	T(C) unbeh	T(C) beh	H(aW) unbeh	H(aW) beh	P02(mHg) unbeh	P02(mHg) beh
Proband P1	-1.7	-1.0	5.2	-3.8	-2.0	-2.9
Proband P1B	-1.2	-0.7	13.4	6.6	-0.6	-0.6
Proband P2	0.6	0.7	-1.3	4.5	1.1	1.2
Proband P3	-0.0	-0.1	0.7	6.3	-1.2	-1.9
Proband P4	0.3	3.4	-3.1	-4.0	0.2	1.5
Proband P4B	1.6	-0.6	-3.5	4.9	-0.1	-0.9
Proband P5	2.1	1.1	-5.2	2.6	0.6	5.4
Proband P5B	-0.2	0.2	3.7	0.3	1.3	1.2
Proband P6	-0.0	-0.6	-0.2	5.3	2.3	-1.7
Proband P7	0.2	0.1	-7.5	-0.4	-0.4	0.0
Proband P8	0.5	0.2	-4.5	0.4	1.5	0.9
Proband P9	0.5	-0.1	1.9	0.6	0.2	1.2
Proband P10	-3.6	-3.7	-10.9	-1.0	-2.7	-4.9
Proband P11	0.1	0.2	-2.6	0.3	-0.9	0.6
Proband P11B	-0.6	-0.3	2.4	0.3	-1.6	1.0
Proband P12	0.0	0.4	-2.6	11.4	0.1	-0.2
Proband P13	0.7	0.2	-20.6	2.8	-0.9	-1.3
Proband P14	-0.1	-0.2	-4.0	7.4	-0.2	-0.6
Proband P14B	0.6	-0.3	0.4	3.4	-0.2	2.2
Proband P15	0.5	0.4	9.0	12.8	2.0	5.5
Proband P16	2.0	2.0	3.5	-3.4	-1.4	-0.8

Differenz der Mittelwerte AP 1 - AP 5

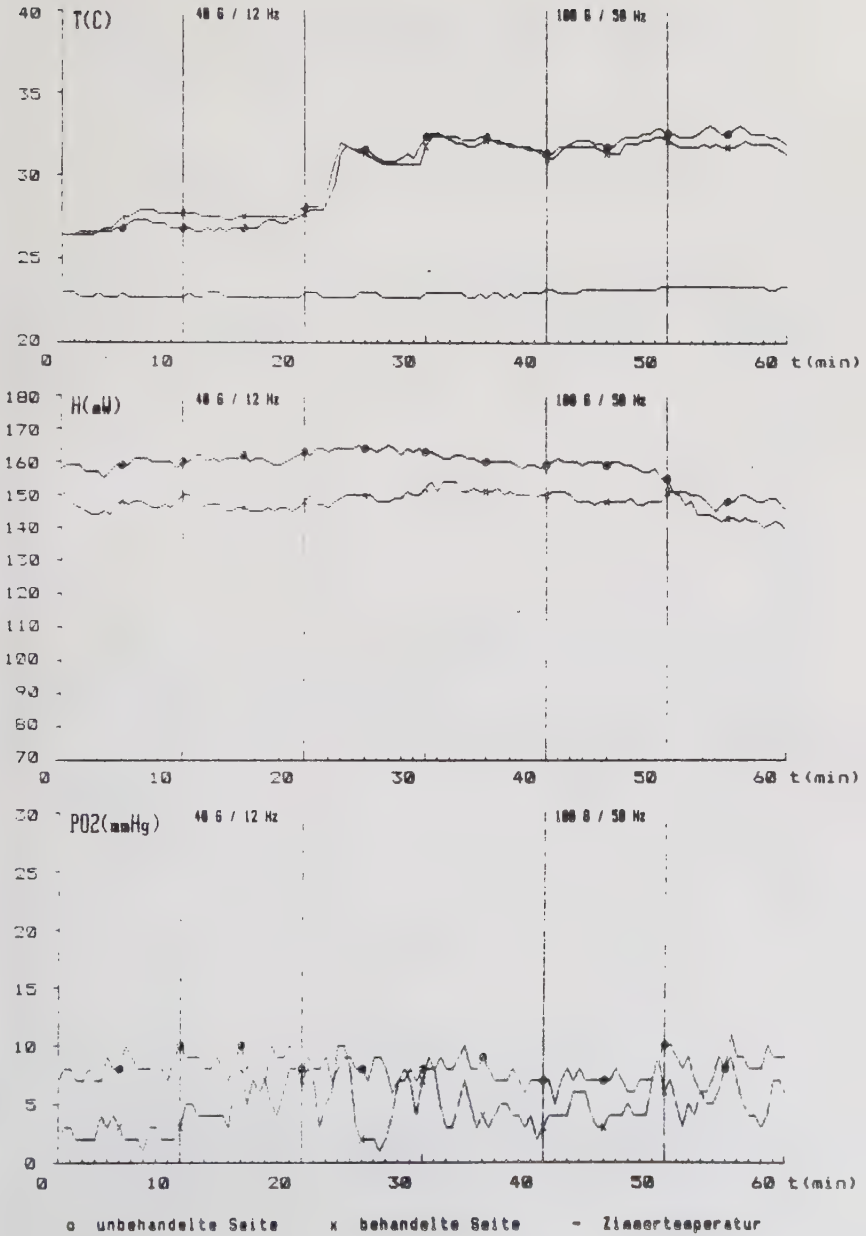
	T(C) unbeh	T(C) beh	H(mm) unbeh	H(mm) beh	P02(mmHg) unbeh	P02(mmHg) beh
Proband P1	1.8	0.8	3.1	-3.4	-2.9	-2.1
Proband P18	-5.8	-4.7	10.3	3.3	-0.4	-3.0
Proband P2	0.7	0.8	2.5	7.9	1.0	2.3
Proband P3	0.1	0.0	5.7	13.1	-1.6	-2.6
Proband P4	0.9	3.8	-3.6	-4.3	-0.4	0.9
Proband P4B	4.2	1.3	-2.0	3.0	2.0	-1.3
Proband P5	2.6	1.4	-11.1	-4.0	-1.2	6.2
Proband P5B	-0.4	0.1	0.1	1.5	2.3	0.3
Proband P6	-0.4	-1.8	5.0	12.6	0.9	-1.8
Proband P7	0.9	0.7	-4.5	-1.9	0.2	0.7
Proband P8	0.8	0.7	-5.9	3.3	1.8	0.4
Proband P9	0.8	0.8	9.3	7.0	1.0	2.4
Proband P10	-2.4	-1.7	-16.1	-7.2	-3.2	-7.6
Proband P11	0.5	0.5	-3.9	1.0	-0.9	2.1
Proband P11B	-0.2	0.2	5.7	4.4	-1.6	3.0
Proband P12	1.3	1.2	-2.0	-2.2	-1.9	-2.9
Proband P13	1.4	1.3	-29.1	-4.9	-12.1	-3.2
Proband P14	-1.0	-1.2	2.0	16.4	0.0	-1.4
Proband P14B	0.4	-0.2	-1.7	1.4	-0.3	1.3
Proband P15	0.7	0.3	15.1	15.0	1.9	7.4
Proband P16	3.1	3.1	-0.1	0.2	-2.0	-4.0

Probands: P1

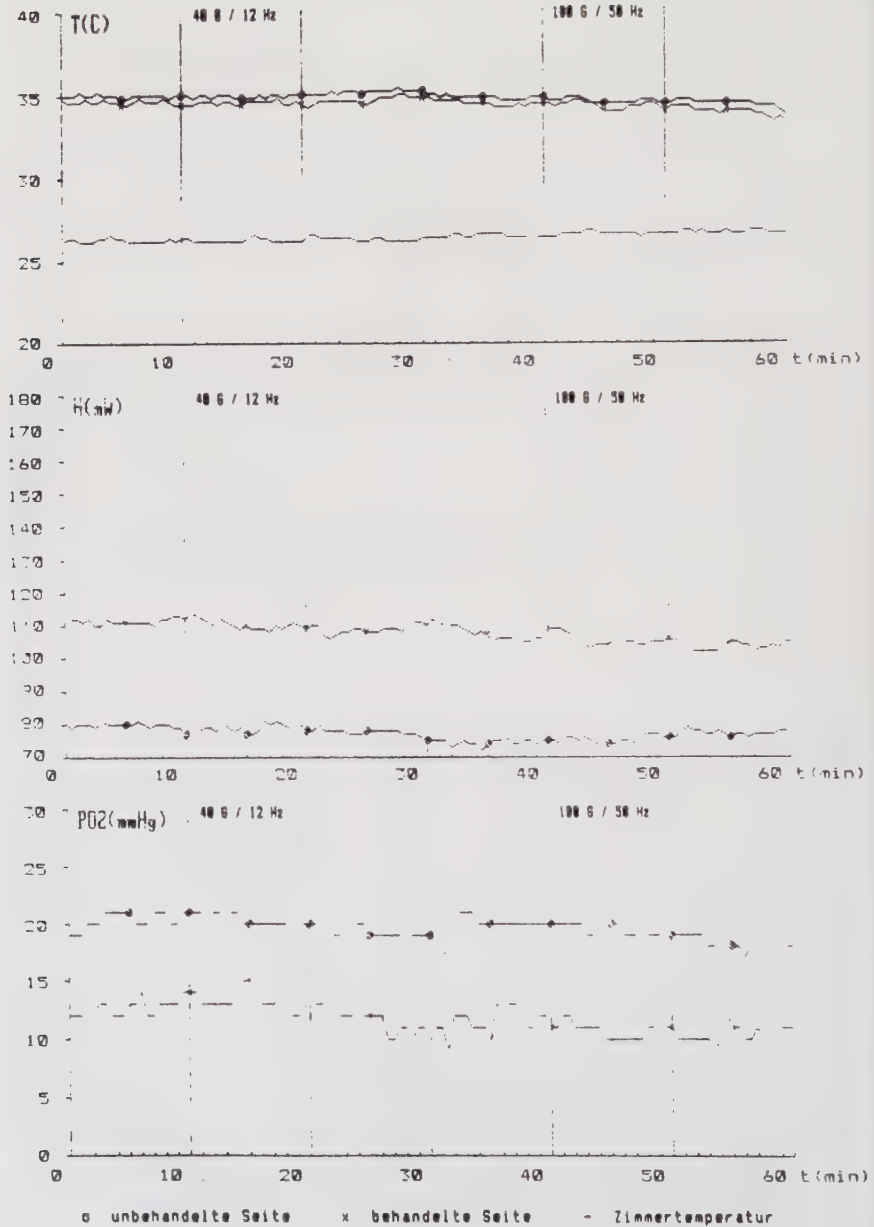


o unbehandelte Seite x behandelte Seite - Zimmertemperatur

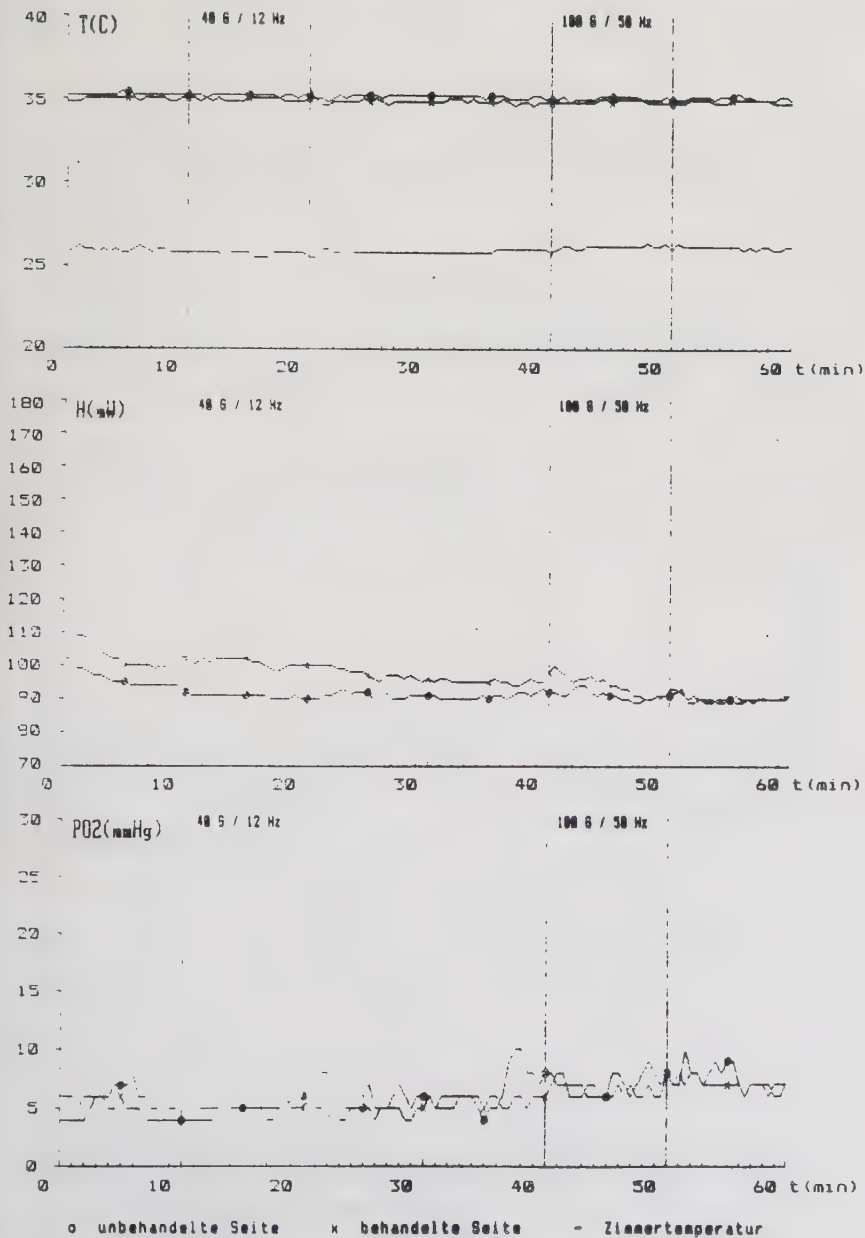
Probands: P1B



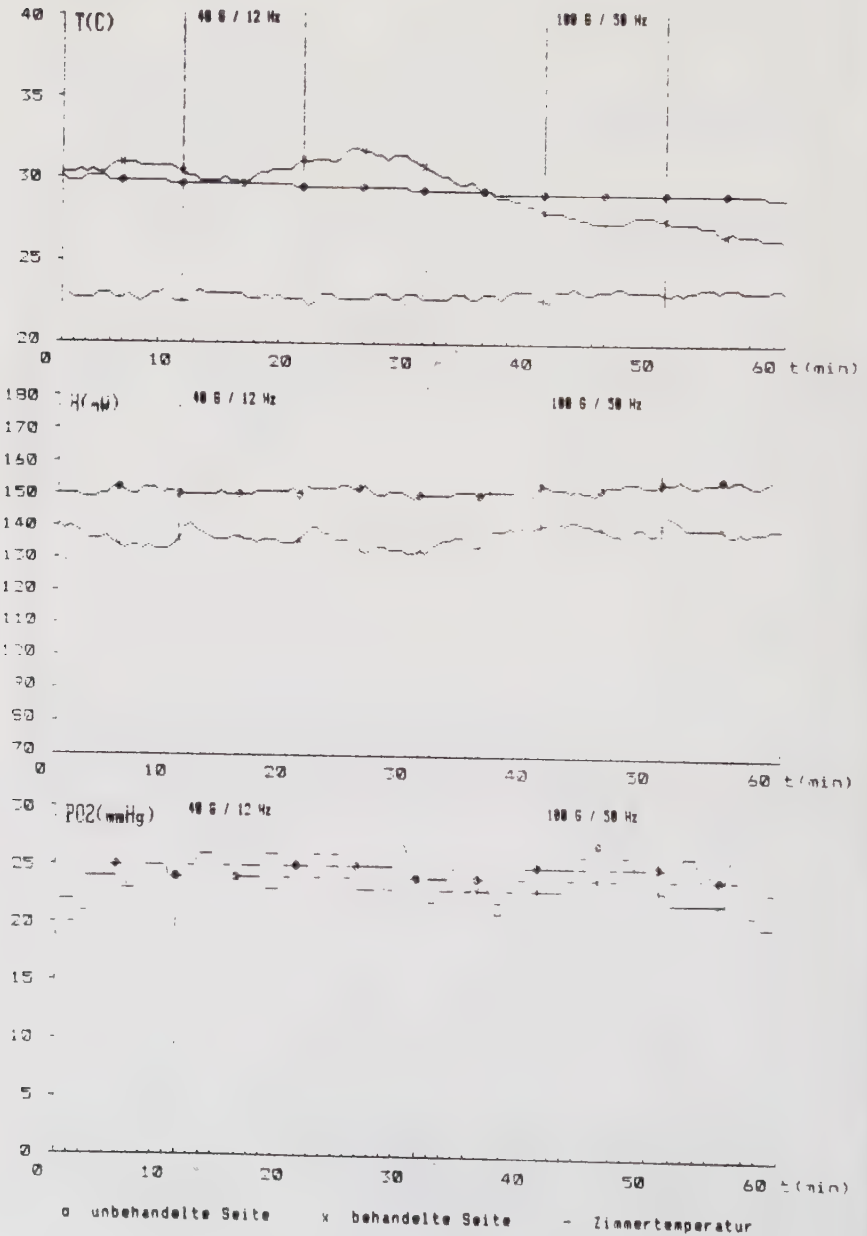
Probands: P2



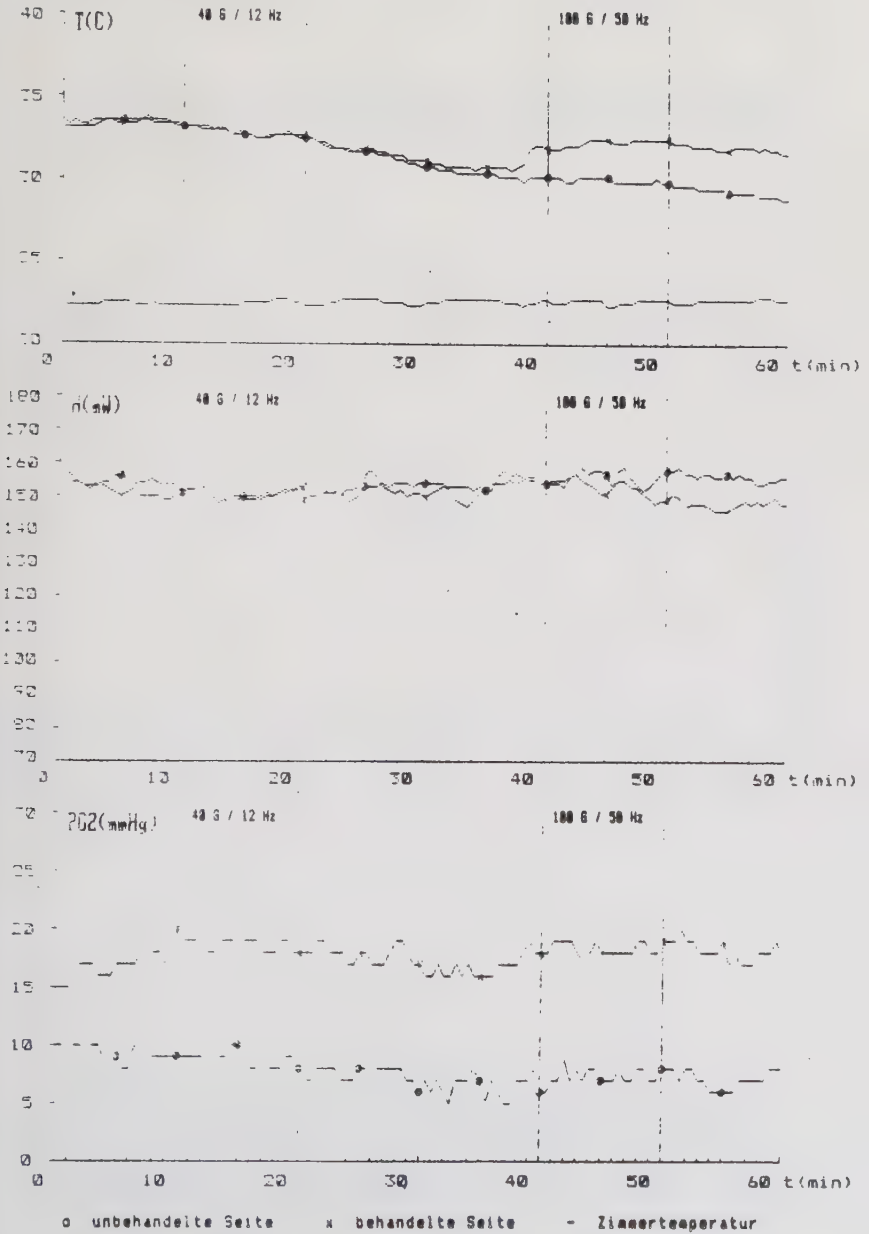
Proband: P3



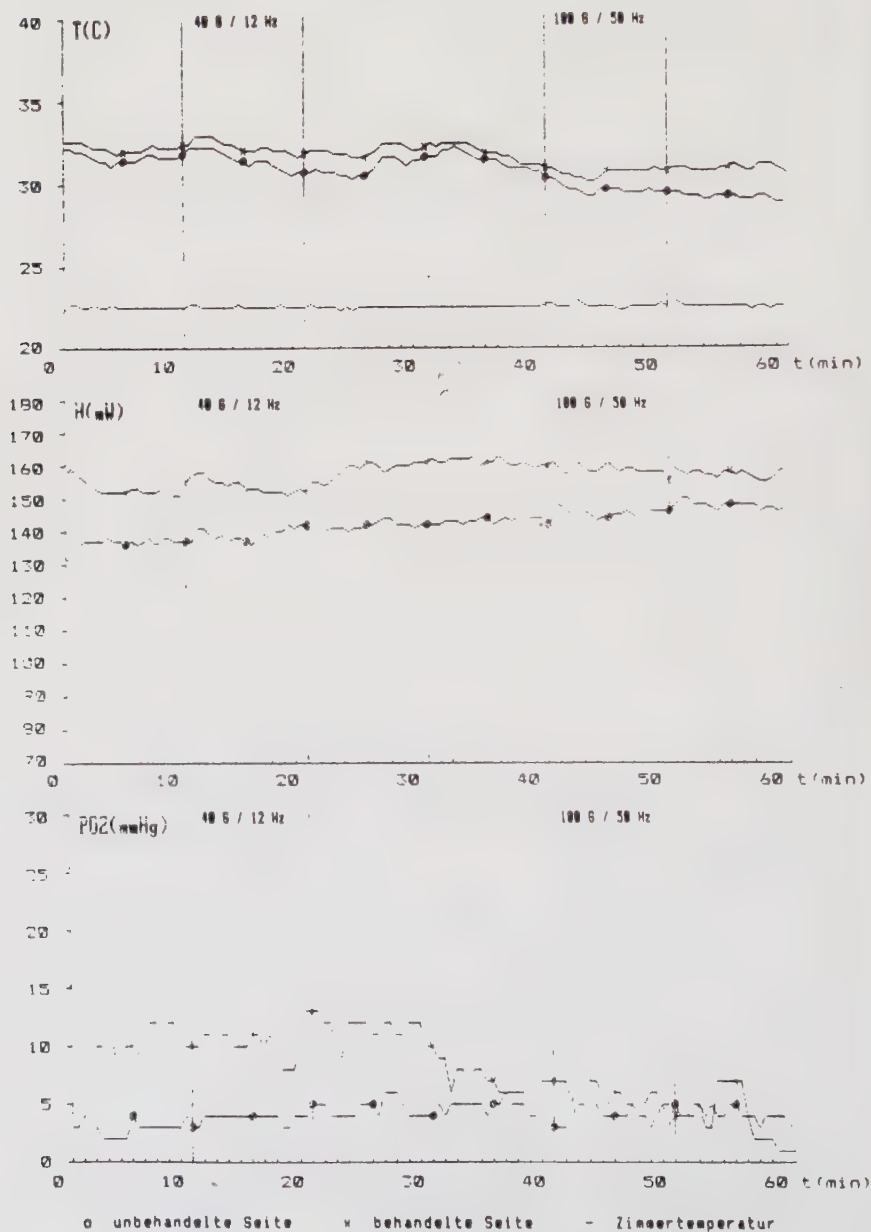
Probands: P4



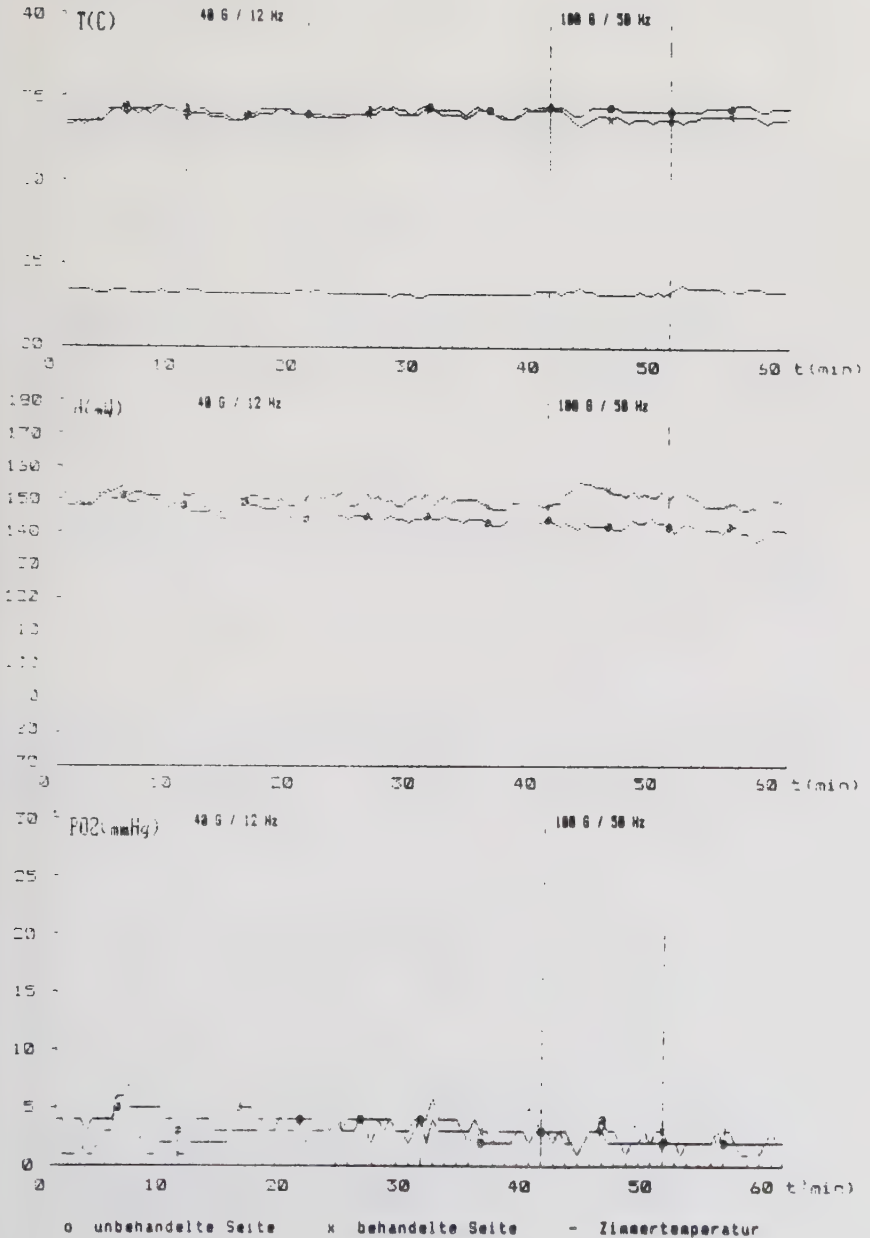
Probands: P4B



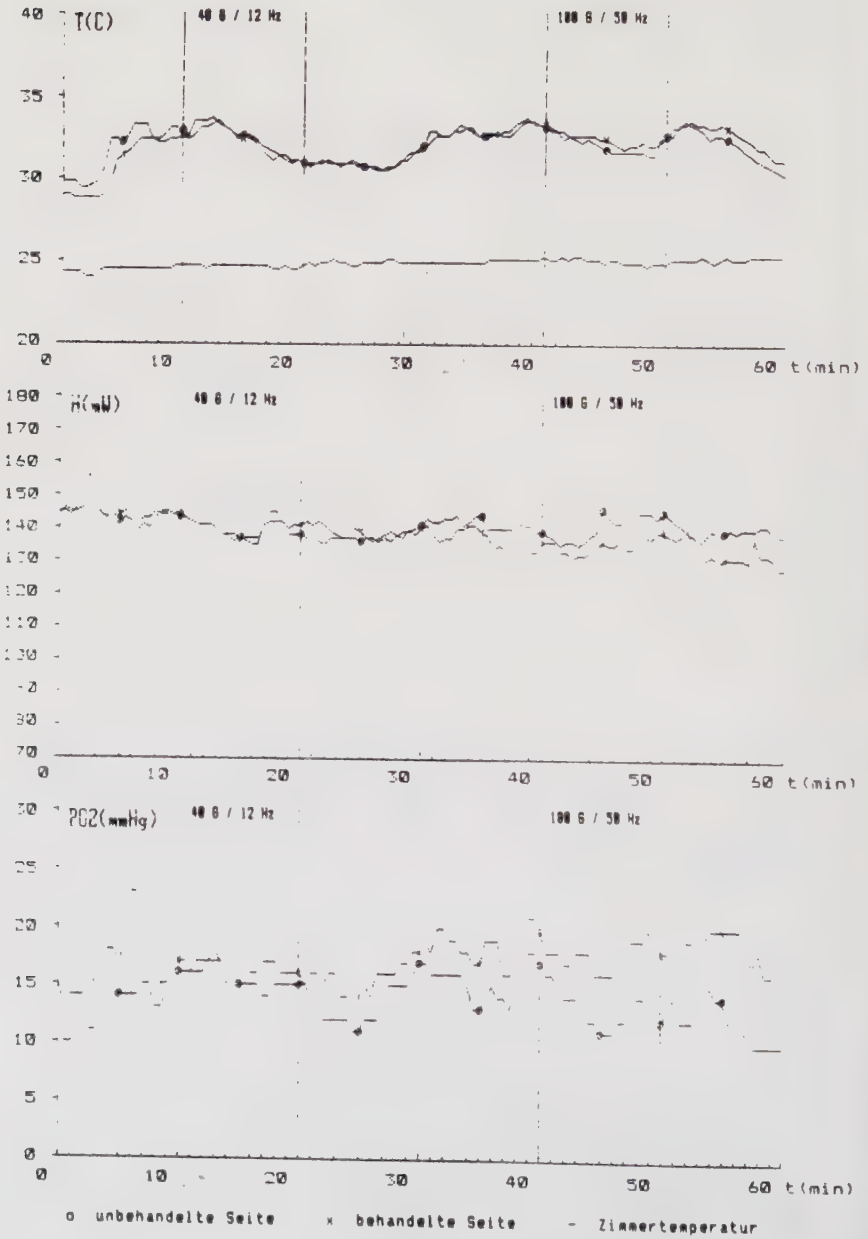
Probands P5



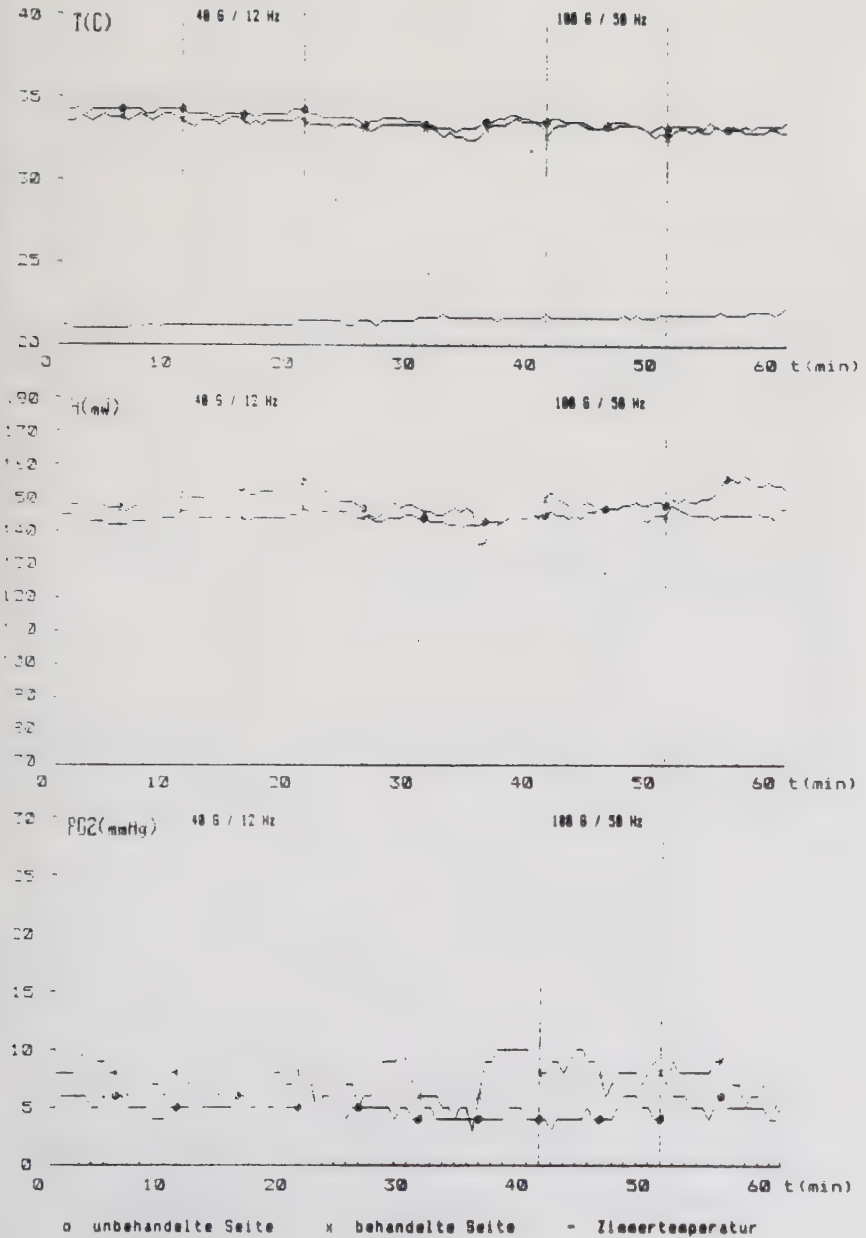
Proband: P58



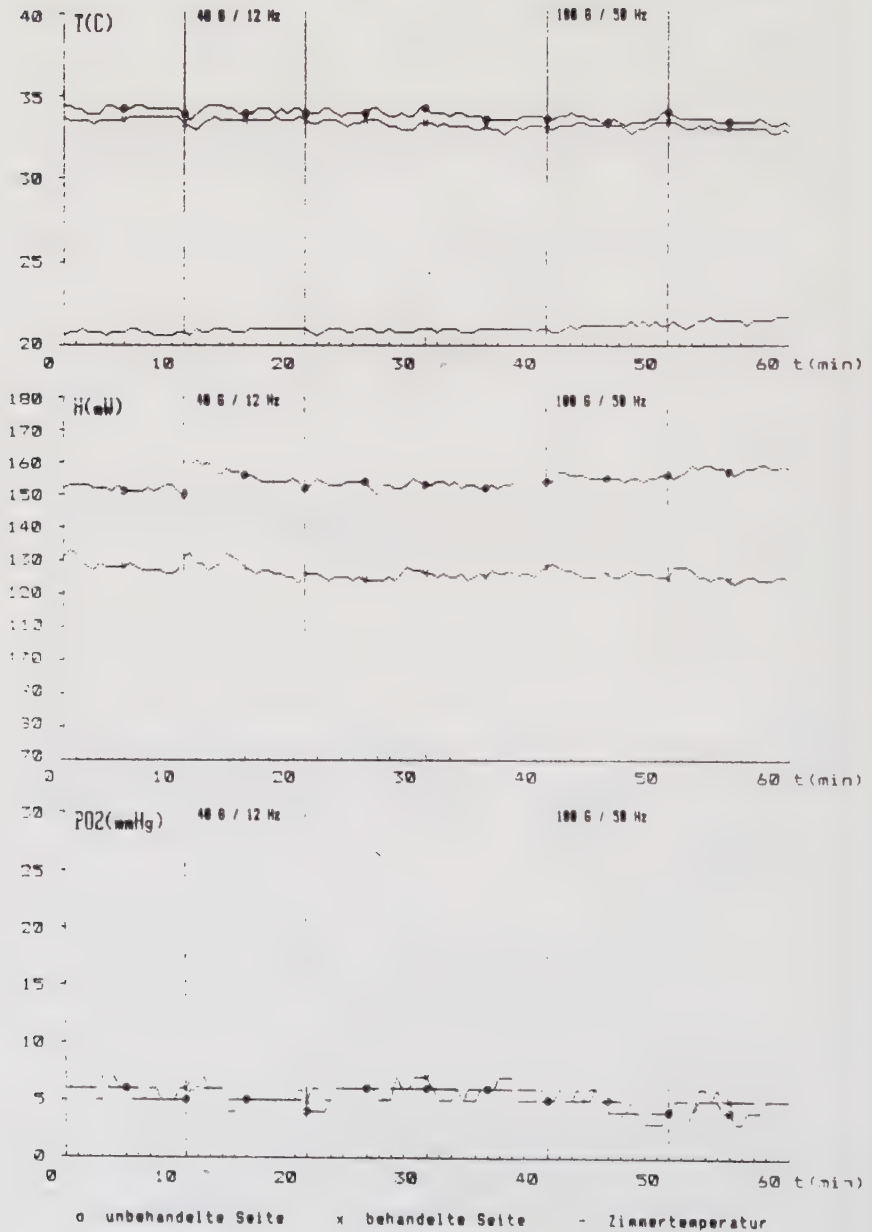
Probands: P6



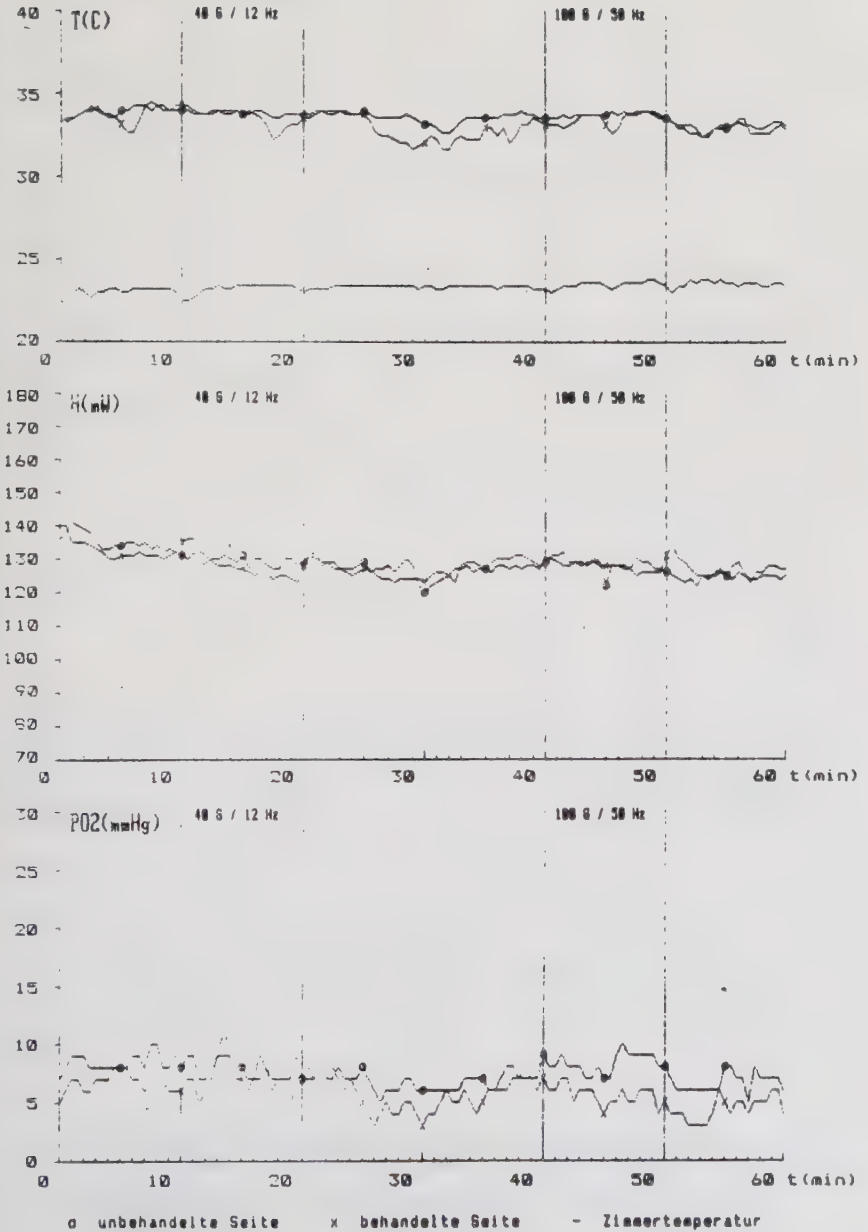
Proband: P7



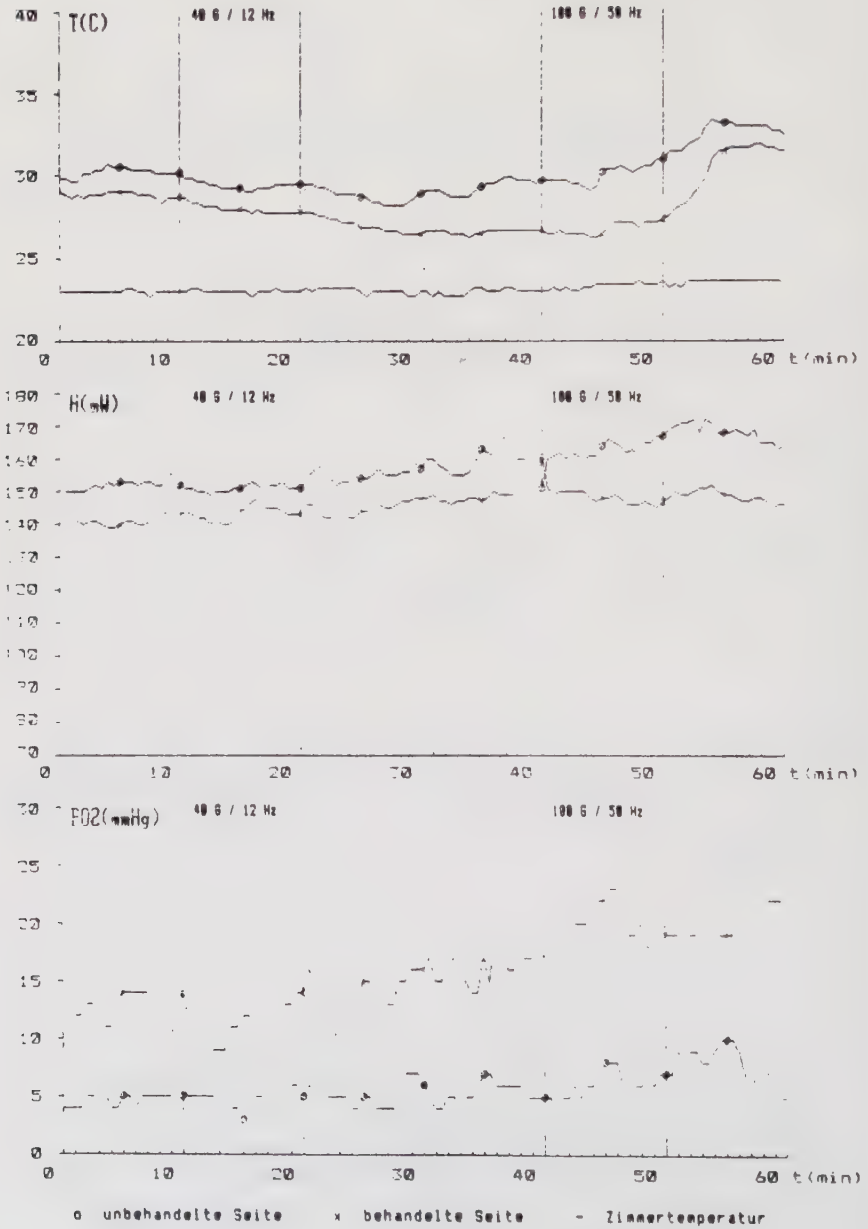
Probands: P8



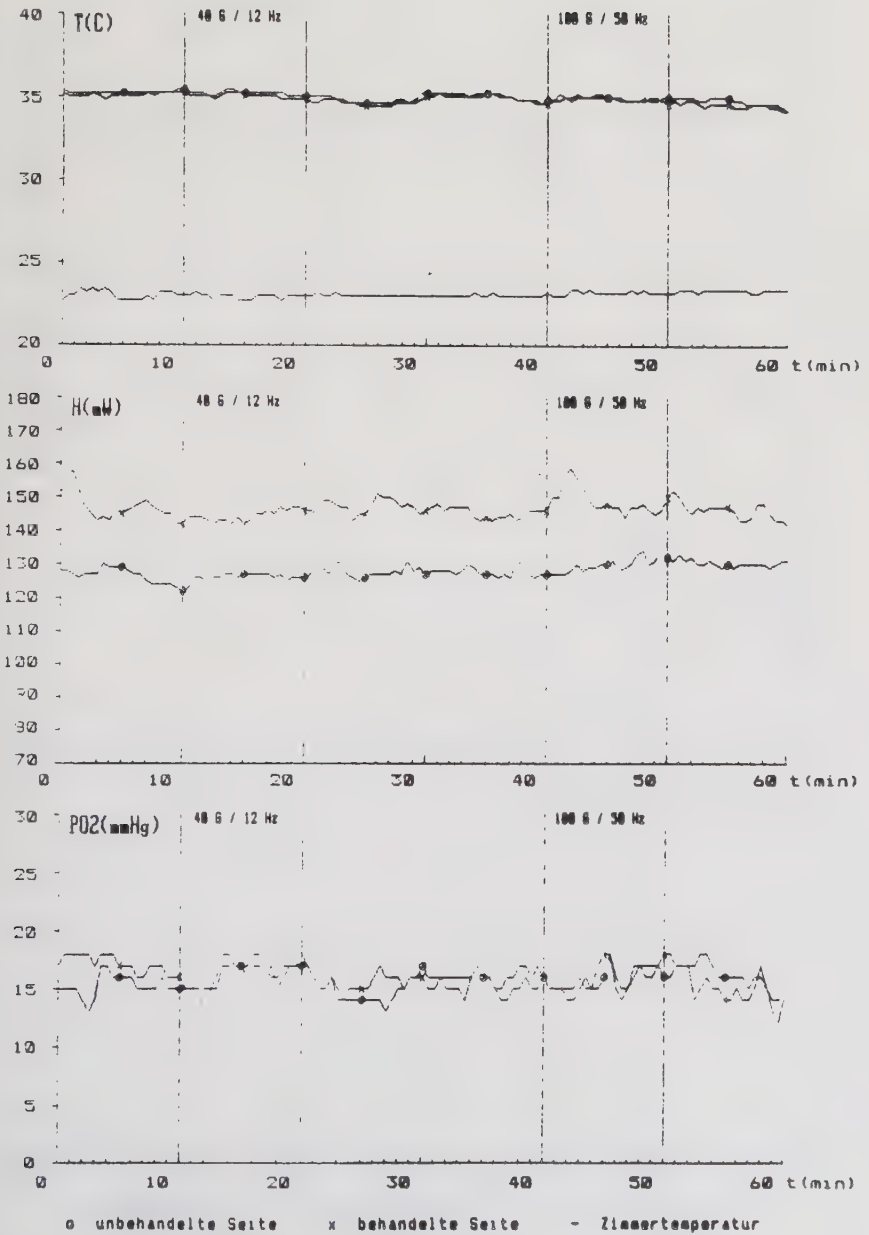
Proband: P9



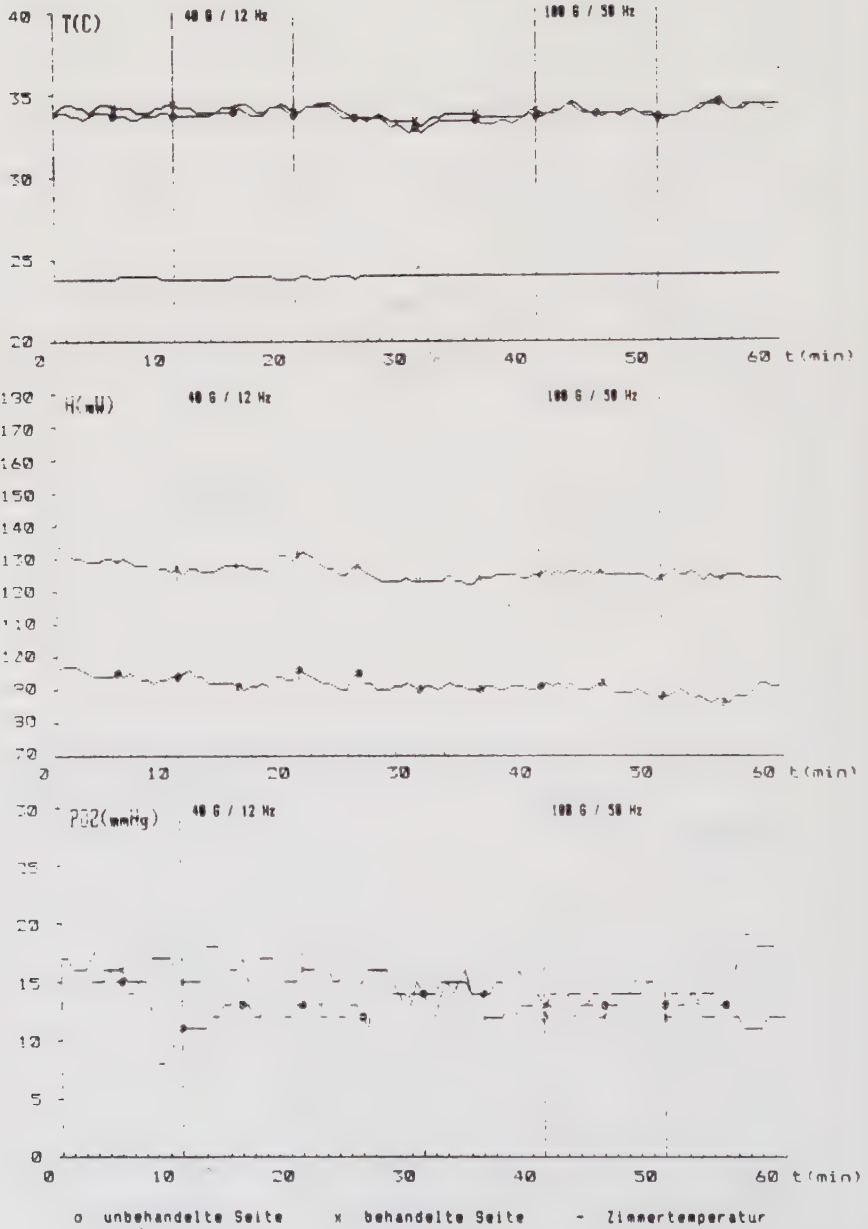
Probands: P10



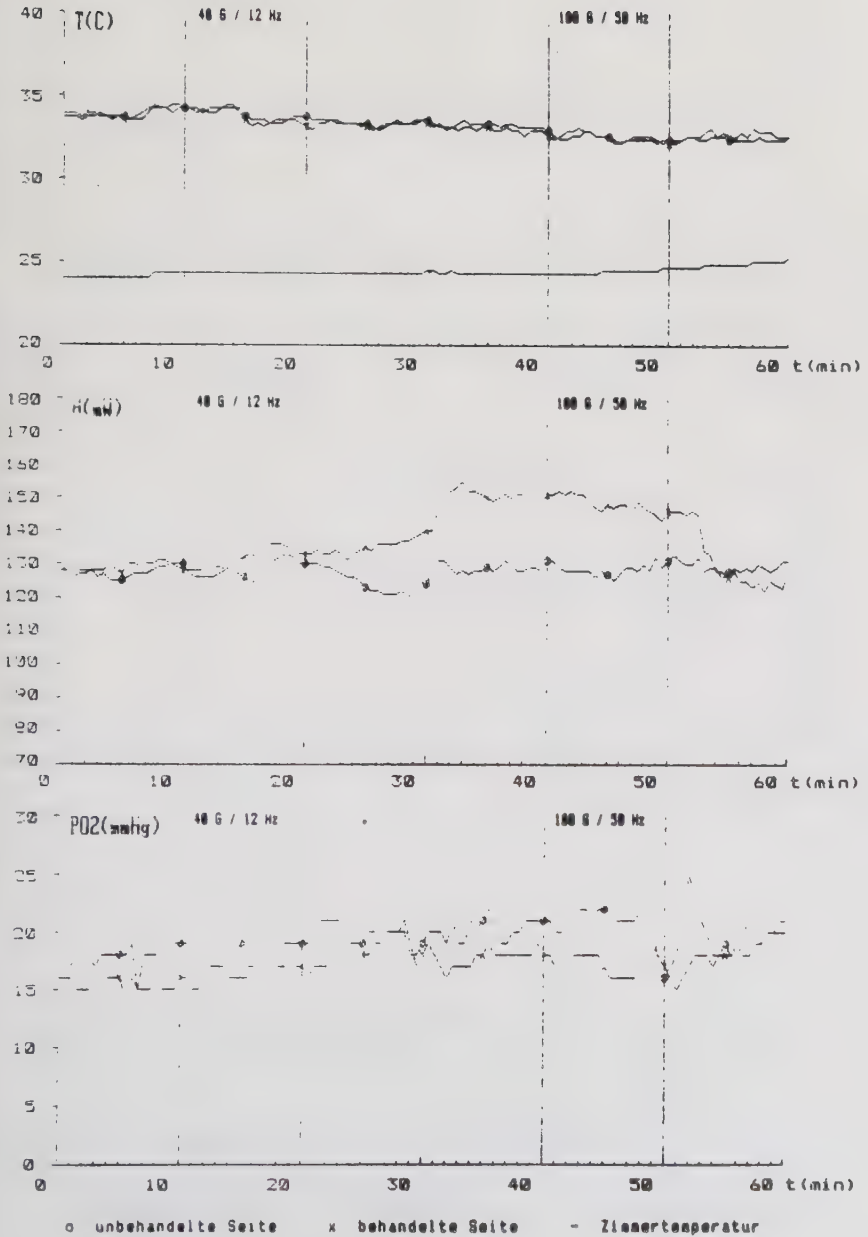
Probands: P11



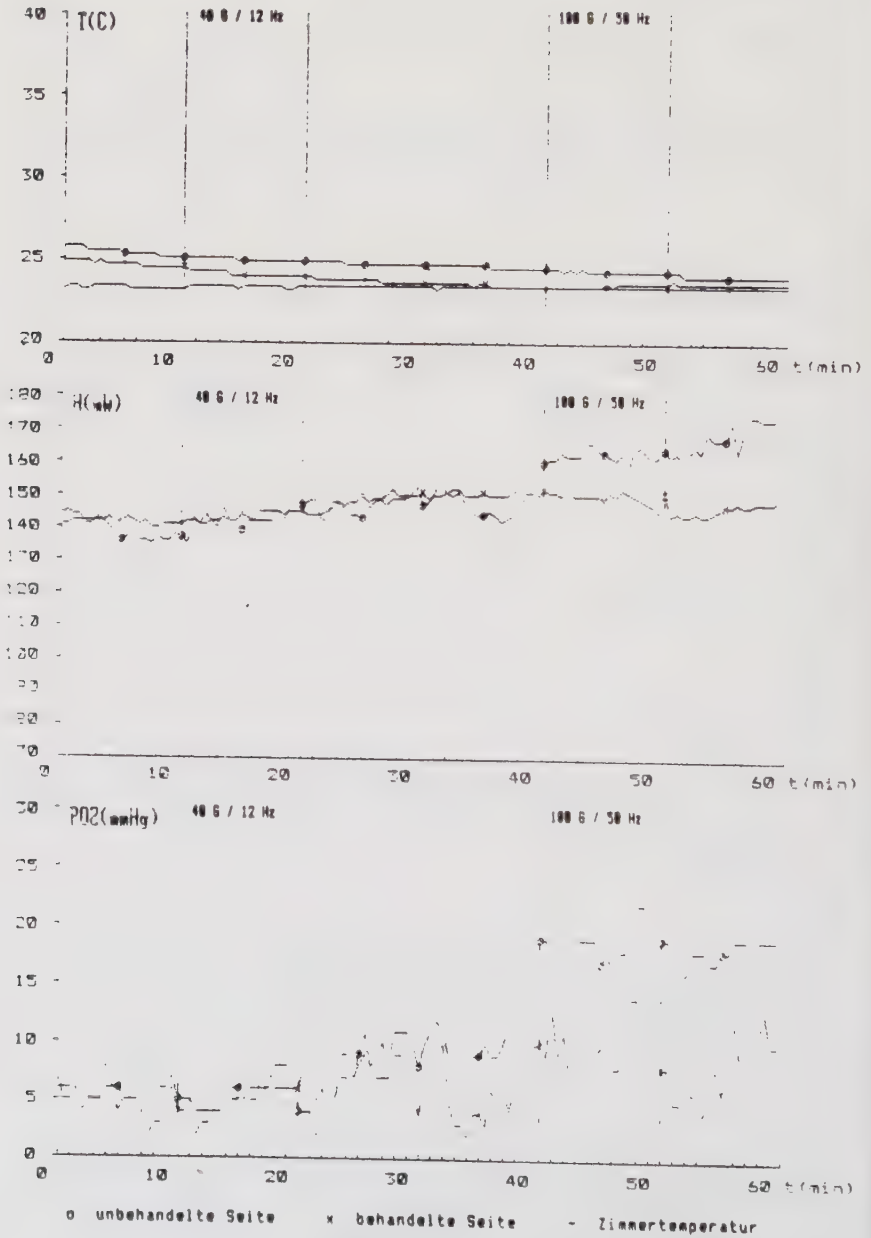
Probands: P11B



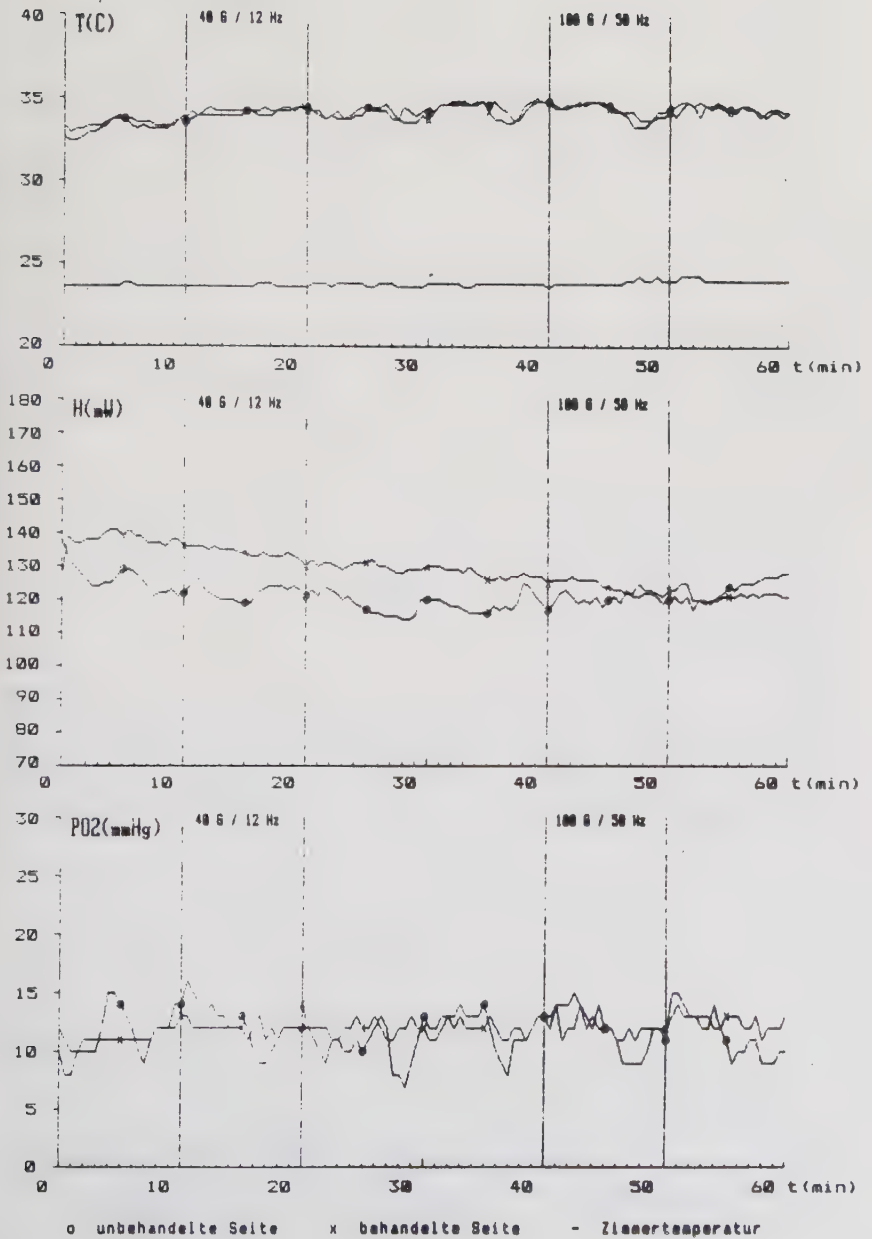
Proband: P12



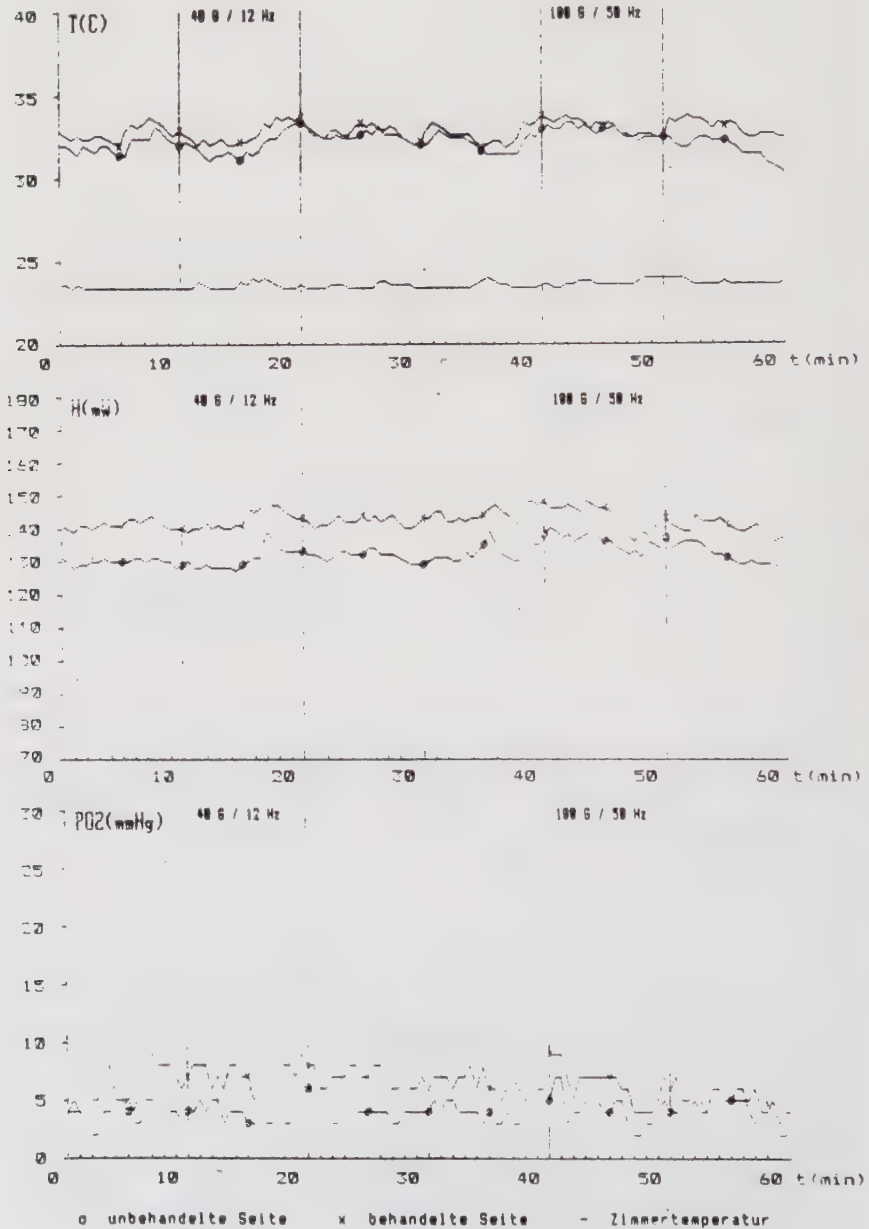
Probands: P13



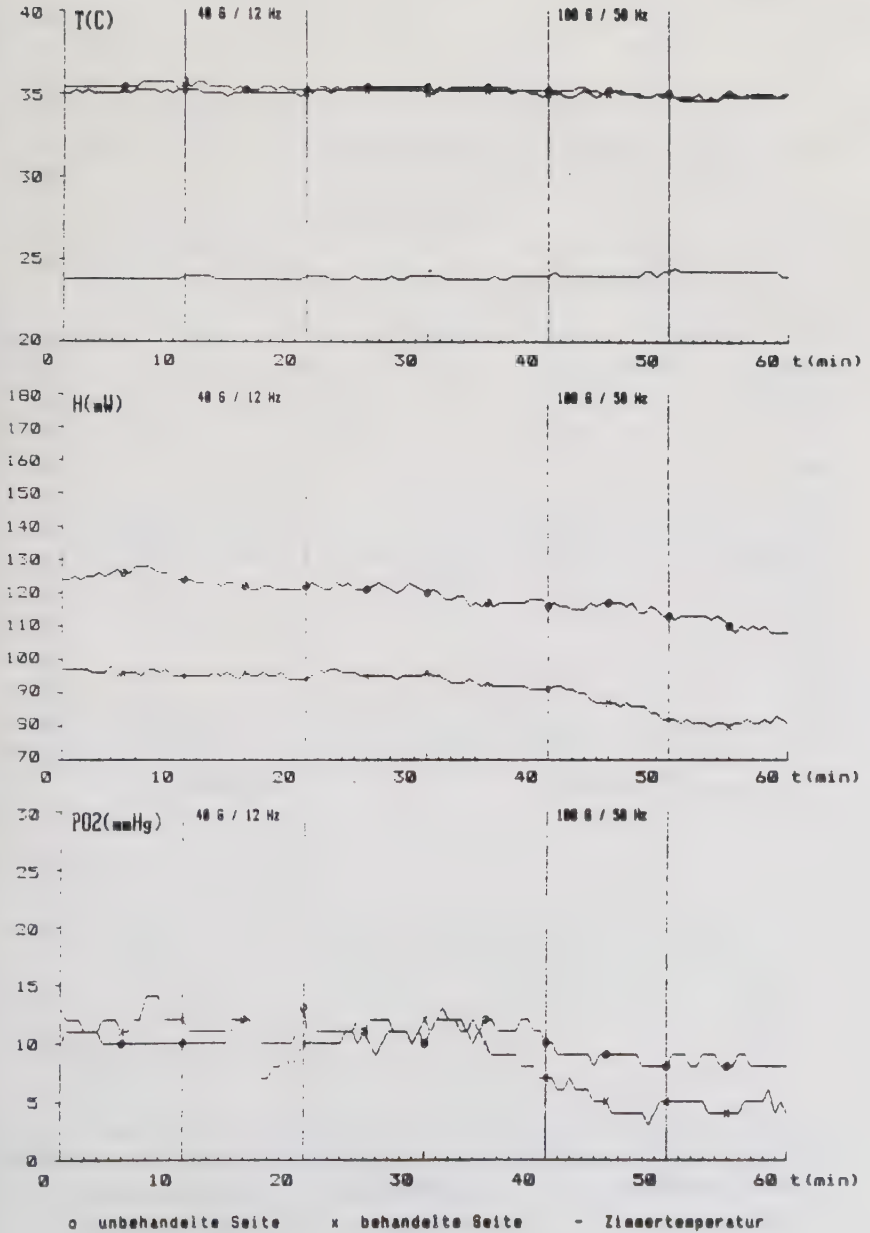
Probands: P14



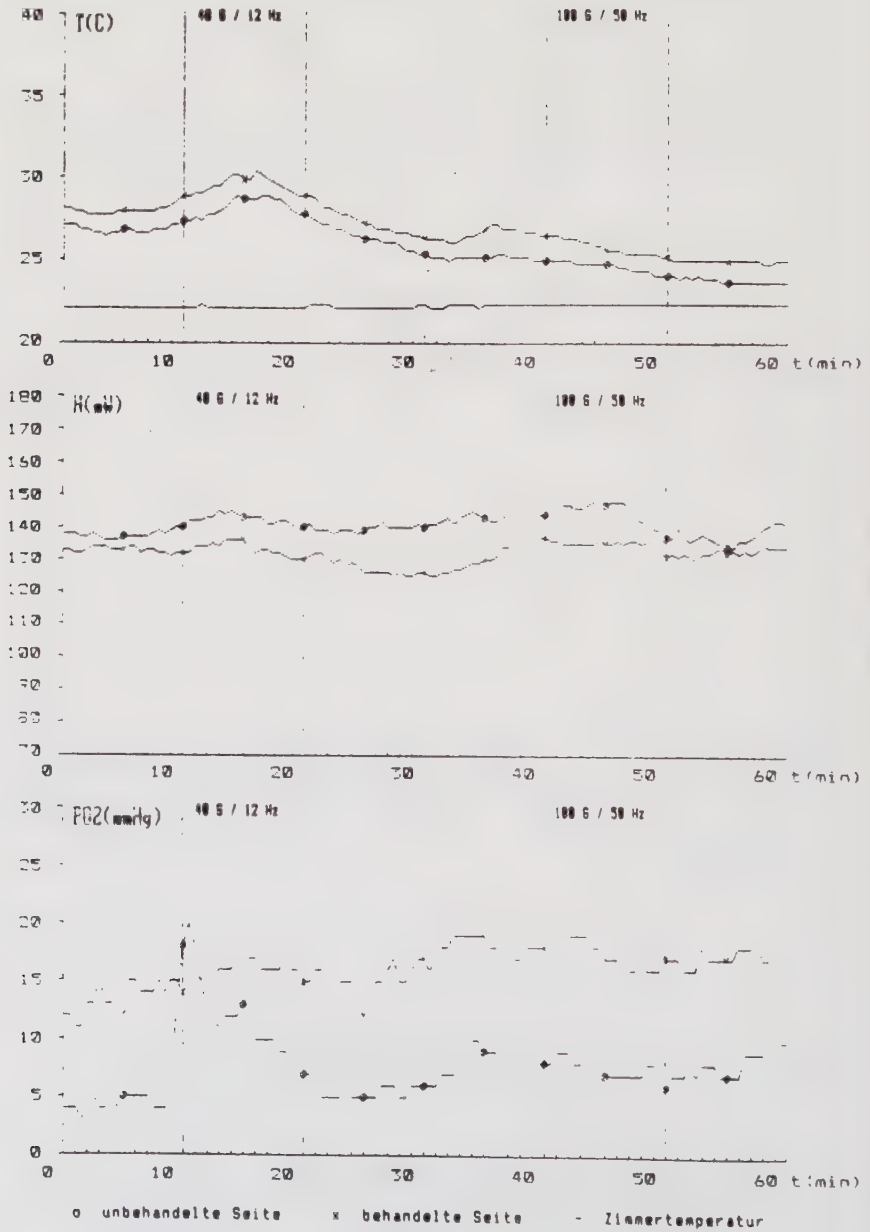
Probands: P14B



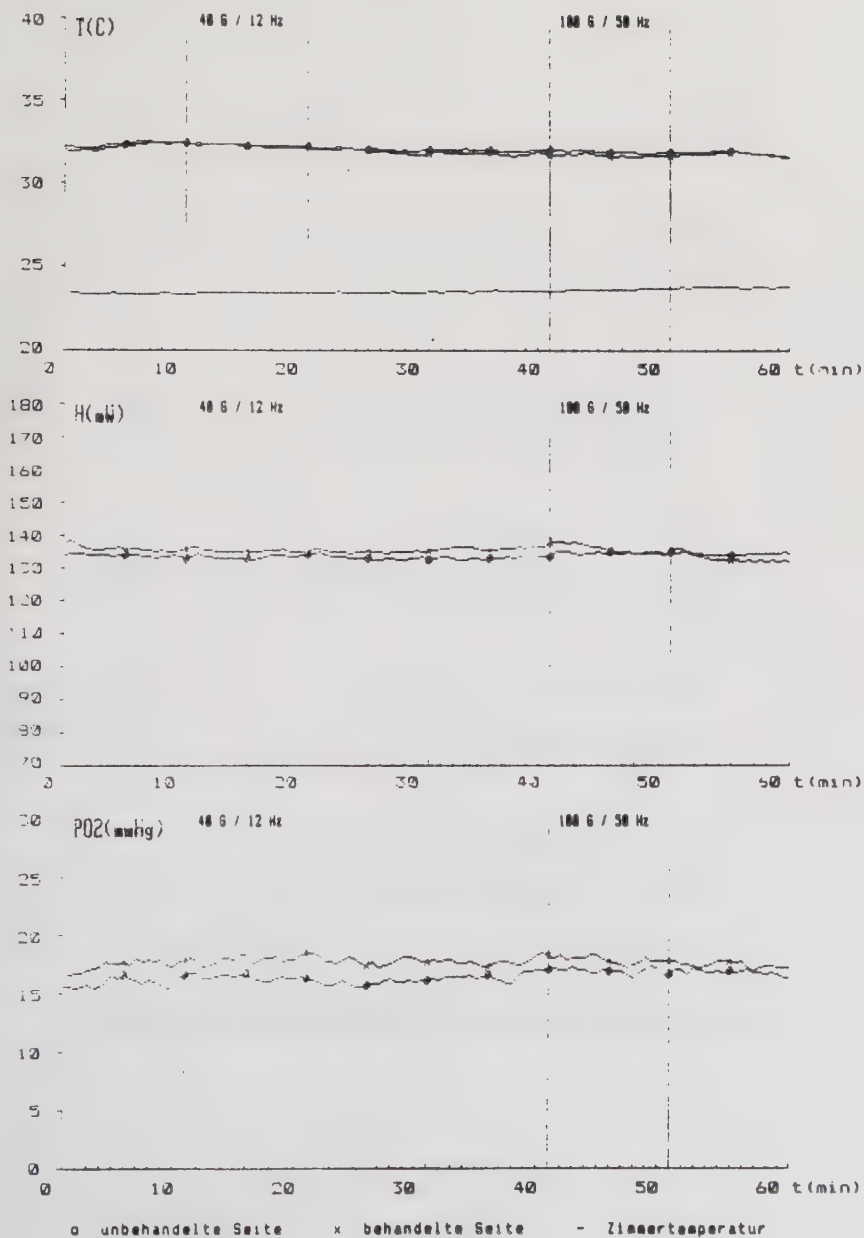
Proband: P15

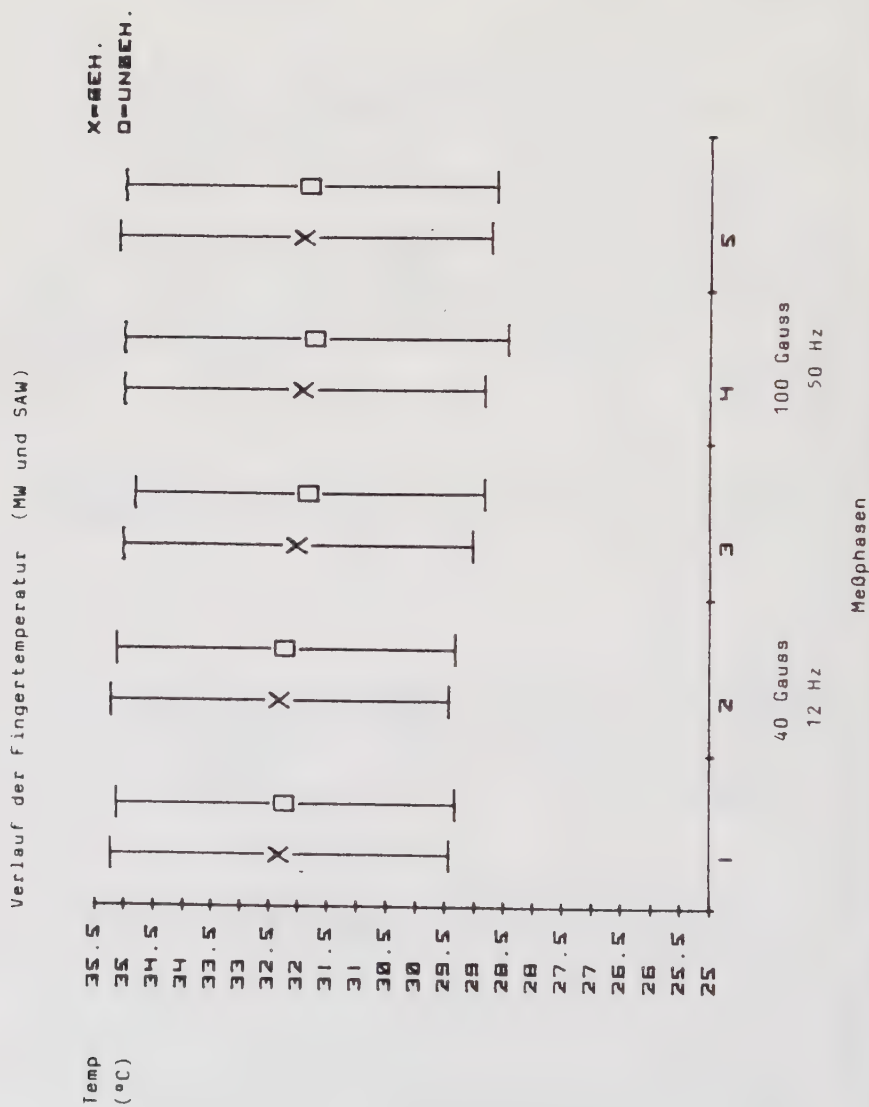


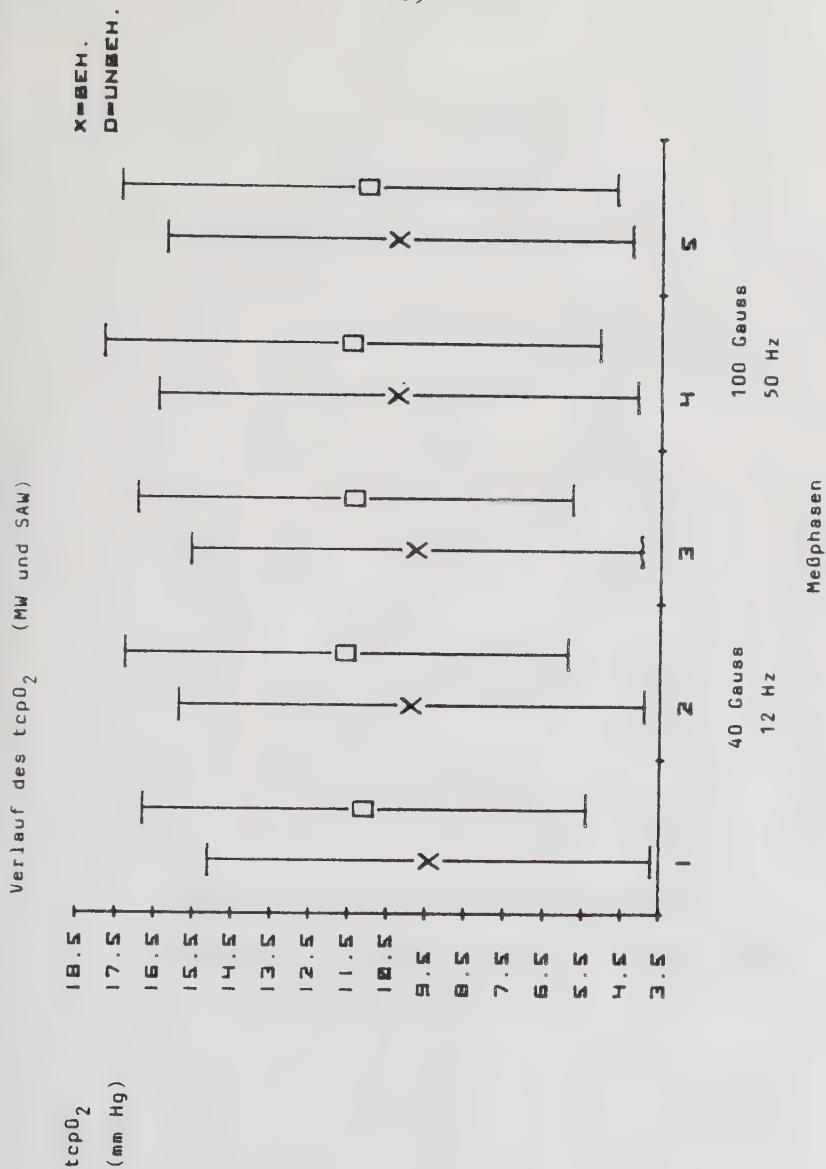
Probands: P16



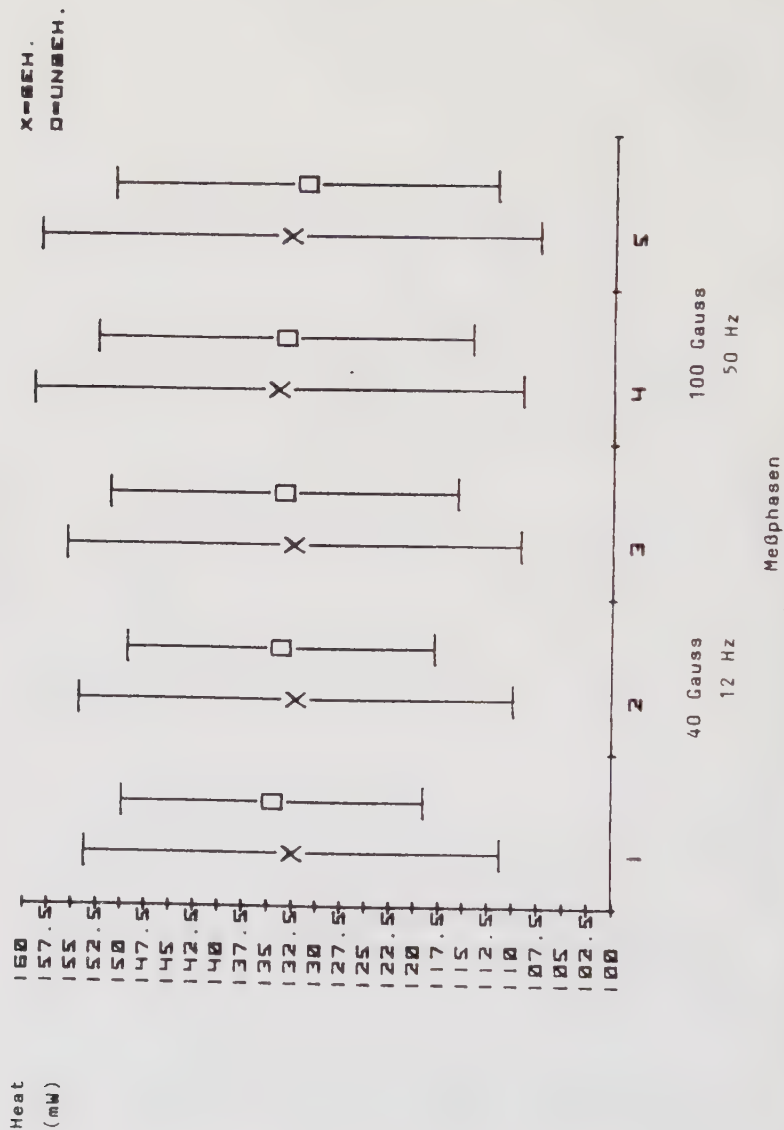
mittlere Kurve aller Probanden







Verlauf der Heizleistung (MW und SAW)



7.2. ROHDATEN ZUM ZWEITEN VERSUCHSDURCHGANG

Proband	Datum der Untersuchung	Uhrzeit	Drift der tc-pO ₂ -Elektrode	
			beh.	unbeh.
K1	4.1.1984	10-30	+ 6 mmHg	+ 6 mmHg
K2	5.1.1984	17-30	+11 mmHg	+10 mmHg
K3	4.1.1984	8-30	+ 7 mmHg	+ 9 mmHg
K4	4.1.1984	12-00	+10 mmHg	+10 mmHg
K5	3.1.1984	17-00	+ 9 mmHg	+ 8 mmHg
K6	6.1.1984	9-00	+ 5 mmHg	+ 6 mmHg
K7	6.1.1984	11-00	+ 8 mmHg	+ 8 mmHg
K8	7.1.1984	14-30	+ 4 mmHg	0 mmHg
K9	2.1.1984	11-00	+ 6 mmHg	+ 4 mmHg
K10	5.1.1984	13-00	+ 9 mmHg	+ 6 mmHg

Proband: K1

	H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		P02(=mHg) unbeh.		P02(=mHg) beh.	
	NW	SAW	NW	SAW	NW	SAW	NW	SAW
Meßphase 1	252.9	3.2	244.2	3.0	51.5	1.0	52.9	3.0
Meßphase 2	256.1	3.1	244.9	2.8	51.0	0.9	48.6	1.7
Meßphase 3	252.6	2.1	242.0	3.0	52.2	1.6	51.6	3.0
Meßphase 4	251.3	4.9	244.0	1.5	50.2	1.5	43.0	2.4
Meßphase 5	252.4	2.1	243.0	7.0	49.6	1.6	42.4	2.4
Meßphase 6	251.3	4.2	240.5	2.9	48.2	1.5	39.0	2.1
Meßphase 7	245.3	4.1	242.3	2.1	48.0	1.6	38.7	3.9
Meßphase 8	246.5	2.7	241.5	2.5	42.2	4.5	39.7	3.1
Meßphase 9	244.8	2.0	241.1	1.9	43.0	2.5	40.9	2.6
Meßphase 10	245.9	2.0	239.0	2.9	47.2	1.5	34.2	1.4
Meßphase 11	250.5	1.8	246.7	2.2	46.6	2.6	41.8	1.7

Proband: K2

	H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		P02(=mHg) unbeh.		P02(=mHg) beh.	
	NW	SAW	NW	SAW	NW	SAW	NW	SAW
Meßphase 1	235.6	2.1	255.4	2.1	62.7	2.0	32.6	1.7
Meßphase 2	238.9	1.6	261.7	1.5	65.6	1.0	34.2	0.8
Meßphase 3	246.3	2.0	266.1	3.3	66.2	0.4	34.3	0.7
Meßphase 4	249.6	1.8	268.2	1.9	67.0	0.7	34.0	0.7
Meßphase 5	251.4	2.0	267.5	1.8	68.0	0.5	33.5	0.8
Meßphase 6	252.1	2.1	269.7	2.1	67.0	0.0	32.4	0.0
Meßphase 7	260.1	9.5	286.0	3.9	72.7	2.2	34.9	2.1
Meßphase 8	252.9	1.4	284.9	3.6	71.5	0.5	30.0	1.7
Meßphase 9	263.9	4.9	293.1	3.0	70.7	1.1	25.3	2.1
Meßphase 10	268.9	3.1	293.3	5.6	69.6	1.0	18.9	2.4
Meßphase 11	260.6	2.3	312.4	5.9	67.8	1.1	9.7	2.6

Proband: K3

	H(mM) unbeh.		H(mM) beh.		P02(=mHg) unbeh.		P02(=mHg) beh.	
	NW	SAW	NW	SAW	NW	SAW	NW	SAW
Meßphase 1	228.2	5.3	236.0	6.6	55.2	1.3	48.5	2.0
Meßphase 2	237.1	1.9	243.0	6.2	54.6	1.2	52.2	0.0
Meßphase 3	246.2	2.0	249.4	4.0	52.3	0.0	54.3	1.2
Meßphase 4	244.0	1.2	250.6	1.4	51.4	0.0	55.6	1.1
Meßphase 5	242.9	1.4	247.8	2.0	53.4	0.5	57.7	0.5
Meßphase 6	237.0	2.9	244.8	1.2	54.7	1.3	59.4	0.0
Meßphase 7	231.5	4.1	241.7	2.2	53.1	1.0	50.6	0.5
Meßphase 8	234.9	2.6	244.3	1.8	52.0	1.1	57.5	1.4
Meßphase 9	232.4	1.6	242.9	1.1	50.1	1.0	50.0	1.1
Meßphase 10	228.2	3.5	241.1	1.7	49.7	1.5	61.0	1.1
Meßphase 11	229.2	3.2	239.1	2.2	46.0	0.9	60.0	0.0

Proband: K4

	H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(aHg) unbeh.		PO2(aHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
Meßphase 1	251.1	1.7	237.3	2.4	60.9	1.6	51.5	1.3
Meßphase 2	252.9	2.0	238.9	1.4	63.2	2.9	54.2	2.8
Meßphase 3	255.4	0.7	241.9	1.3	61.3	1.3	51.9	1.3
Meßphase 4	252.4	2.7	240.7	1.3	65.9	3.3	57.8	2.5
Meßphase 5	250.8	1.3	242.1	1.9	60.9	3.1	52.5	2.6
Meßphase 6	251.9	3.7	241.3	3.8	65.5	3.4	56.4	2.8
Meßphase 7	250.9	1.0	242.2	1.5	64.7	2.8	55.6	2.5
Meßphase 8	251.3	1.2	240.7	2.4	65.8	2.8	58.4	2.3
Meßphase 9	245.2	1.3	241.7	4.7	70.2	4.1	61.3	3.4
Meßphase 10	247.7	2.3	239.2	2.9	65.7	5.9	56.8	5.3
Meßphase 11	246.9	1.2	235.1	2.2	68.5	3.9	58.3	2.3

Proband: K9

	H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(aHg) unbeh.		PO2(aHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
Meßphase 1	233.8	1.5	271.0	3.5	70.2	0.8	56.5	0.7
Meßphase 2	237.4	1.6	278.4	1.2	70.5	0.8	56.8	1.4
Meßphase 3	238.9	1.7	279.9	2.1	71.7	0.8	58.2	1.1
Meßphase 4	240.5	1.1	277.7	1.4	72.0	0.8	58.6	0.8
Meßphase 5	240.1	1.6	278.8	2.4	72.6	0.8	58.9	1.1
Meßphase 6	238.5	1.4	283.5	1.6	72.0	0.8	57.4	1.0
Meßphase 7	235.2	1.2	284.6	1.3	72.0	0.5	57.3	0.7
Meßphase 8	233.4	1.6	284.3	0.8	72.1	0.3	56.9	0.6
Meßphase 9	232.4	0.7	281.6	0.7	72.1	0.6	57.5	0.5
Meßphase 10	229.6	1.2	279.9	1.4	72.1	0.3	58.1	0.6
Meßphase 11	230.4	3.9	278.0	2.3	72.4	0.5	58.7	0.5

Proband: K6

	H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(aHg) unbeh.		PO2(aHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
Meßphase 1	268.5	10.4	234.0	3.9	55.2	1.5	38.6	1.8
Meßphase 2	278.6	10.5	238.6	1.8	52.7	1.1	39.4	1.6
Meßphase 3	260.1	3.2	227.7	1.3	51.1	1.7	39.0	2.4
Meßphase 4	251.5	4.4	231.3	0.5	47.6	2.8	38.1	1.7
Meßphase 5	250.7	4.8	230.9	4.3	45.1	1.9	35.9	2.1
Meßphase 6	254.6	4.4	225.1	4.9	39.3	1.3	38.6	1.8
Meßphase 7	255.1	6.8	235.8	2.0	56.9	2.7	40.0	1.2
Meßphase 8	240.4	2.5	237.3	3.4	35.1	1.4	40.8	1.5
Meßphase 9	232.2	7.5	227.9	4.2	38.5	1.1	42.4	2.4
Meßphase 10	222.9	2.8	222.1	2.2	42.1	1.4	41.1	1.5
Meßphase 11	224.5	4.1	215.1	4.8	40.4	2.2	42.7	1.7

Proband: K7

	H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(aeHg) unbeh.		PO2(aeHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
Meßphase 1	251.5	0.7	259.1	4.7	46.5	0.8	39.4	1.4
Meßphase 2	253.1	1.1	253.3	0.9	47.2	0.8	40.1	0.7
Meßphase 3	249.9	1.1	253.2	1.5	47.9	0.7	40.2	1.2
Meßphase 4	250.5	1.3	252.1	0.6	47.8	1.3	42.6	0.8
Meßphase 5	250.3	4.3	249.8	1.3	49.2	1.2	43.8	1.1
Meßphase 6	252.7	3.0	249.3	0.7	49.7	0.8	43.9	0.6
Meßphase 7	244.3	1.6	245.1	1.3	47.6	1.6	43.2	1.1
Meßphase 8	242.2	0.8	243.4	0.5	50.2	2.1	43.3	0.8
Meßphase 9	243.8	3.0	243.7	3.0	50.6	0.7	43.0	1.2
Meßphase 10	249.9	3.0	247.6	1.7	56.5	2.2	45.5	1.0
Meßphase 11	246.9	1.1	246.4	0.3	56.4	1.1	46.5	0.7

Proband: K8

	H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(aeHg) unbeh.		PO2(aeHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
Meßphase 1	265.7	4.2	259.5	1.1	47.2	0.6	64.5	0.9
Meßphase 2	265.2	2.6	259.6	0.7	44.7	1.5	59.6	1.1
Meßphase 3	260.3	4.1	259.1	1.0	43.3	0.5	59.5	0.5
Meßphase 4	258.0	4.1	258.4	1.1	42.9	0.7	59.2	0.4
Meßphase 5	238.9	3.1	259.0	0.8	44.7	1.4	59.8	0.8
Meßphase 6	242.8	1.1	260.2	0.6	44.8	0.8	59.4	0.8
Meßphase 7	246.8	4.5	261.0	1.1	48.3	3.0	62.2	2.8
Meßphase 8	263.1	2.4	263.1	1.7	51.8	1.7	66.6	2.1
Meßphase 9	259.3	3.7	262.9	1.2	52.9	1.7	67.0	1.3
Meßphase 10	252.6	7.9	261.9	2.8	54.3	0.8	68.4	0.5
Meßphase 11	249.9	1.9	262.9	1.8	54.0	2.1	67.7	1.9

Proband: K9

	H(aW) unbeh.		H(aW) beh.		PO2(aeHg) unbeh.		PO2(aeHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
Meßphase 1	273.5	1.4	278.7	7.9	45.8	0.9	33.8	1.3
Meßphase 2	274.8	1.6	279.0	2.7	47.5	1.8	33.9	0.9
Meßphase 3	282.0	6.5	284.4	2.7	47.3	1.1	32.4	0.7
Meßphase 4	292.4	1.1	279.6	3.5	45.9	1.8	32.3	0.8
Meßphase 5	295.2	2.4	282.0	3.1	46.6	1.8	32.4	0.8
Meßphase 6	290.2	1.4	274.3	3.9	48.7	0.9	35.1	1.9
Meßphase 7	291.0	2.8	272.5	1.6	47.6	1.6	34.5	1.4
Meßphase 8	283.0	3.9	272.7	1.9	50.2	2.1	34.2	1.1
Meßphase 9	273.6	3.9	273.0	2.9	48.3	2.5	33.7	1.5
Meßphase 10	272.7	4.2	275.6	2.7	45.1	3.9	31.2	1.9
Meßphase 11	271.1	2.6	287.2	3.1	45.3	1.8	29.7	0.9

Proband: K10

	H(mm) unbeh.		H(mm) beh.		PO2(mmHg) unbeh.		PO2(mmHg) beh.	
	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW	MM	SAW
Meßphase 1	258.5	2.3	247.1	2.4	47.5	2.7	48.7	2.2
Meßphase 2	257.1	1.9	246.3	0.8	47.2	1.1	49.4	1.2
Meßphase 3	255.7	1.9	242.6	2.5	47.9	1.8	48.7	1.6
Meßphase 4	252.3	1.6	243.8	1.4	51.2	1.5	53.3	3.4
Meßphase 5	252.6	1.4	243.3	1.4	47.8	2.8	52.6	1.2
Meßphase 6	251.8	2.8	241.1	1.4	48.4	1.2	54.1	2.1
Meßphase 7	251.1	2.1	241.2	0.9	45.2	4.0	52.9	1.9
Meßphase 8	251.1	1.9	241.6	1.1	38.5	1.6	47.8	1.5
Meßphase 9	250.5	1.4	242.3	2.1	38.4	2.8	47.8	4.3
Meßphase 10	244.7	3.6	243.8	1.4	36.9	2.6	54.4	1.3
Meßphase 11	247.8	4.8	242.1	3.6	31.9	2.8	52.9	2.4

Meßphase 1

	H(mM) unbeh.	H(mM) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	252.9	244.2	51.5	52.9
K2	235.6	255.4	62.7	32.6
K3	228.2	236.8	55.2	48.5
K4	251.1	237.3	68.9	51.5
K5	233.8	271.8	78.2	56.5
K6	260.5	234.8	55.2	38.6
K7	251.5	259.1	46.5	39.4
K8	265.7	259.5	47.2	64.5
K9	273.5	278.7	45.8	33.8
K10	258.5	247.1	47.5	48.7
Mittelwert	251.1	252.3	54.3	46.7
Standardabw.	14.6	15.1	8.2	18.4

Meßphase 2

	H(mM) unbeh.	H(mM) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	256.1	244.9	51.5	48.6
K2	238.9	261.7	65.6	34.2
K3	237.1	243.8	54.6	52.2
K4	252.9	238.9	63.2	54.2
K5	237.4	278.4	78.5	56.8
K6	278.6	238.6	52.7	39.4
K7	253.1	253.3	47.2	48.1
K8	265.2	259.6	44.7	59.6
K9	274.8	279.8	47.5	33.9
K10	257.1	246.3	47.2	49.4
Mittelwert	255.1	253.7	54.5	46.8
Standardabw.	14.7	16.1	3.9	9.3

Meßphase 3

	H(mM) unbeh.	H(mM) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	252.6	242.8	52.2	51.6
K2	246.3	266.1	66.2	34.3
K3	246.2	249.4	52.3	54.3
K4	255.4	241.9	61.3	51.9
K5	238.9	279.9	71.7	58.2
K6	268.1	227.7	51.1	39.8
K7	249.9	253.2	47.9	48.2
K8	268.3	259.1	43.3	59.5
K9	282.8	284.4	47.3	32.4
K10	255.7	242.6	47.9	48.7
Mittelwert	254.7	254.7	54.1	47.8
Standardabw.	11.7	17.9	9.2	9.8

Meßphase 4

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	251.5	244.8	58.2	43.8
K2	249.6	268.2	67.8	34.8
K3	244.8	258.6	51.4	55.6
K4	252.4	248.7	65.9	57.8
K5	248.5	277.7	72.8	58.6
K6	251.5	231.3	47.6	38.1
K7	258.5	252.1	47.8	42.6
K8	258.8	258.4	42.9	59.2
K9	292.4	279.6	45.9	32.3
K10	252.3	243.8	51.2	53.3
Mittelwert	253.5	254.6	54.2	47.4
Standardabw.	14.2	16.1	18.2	18.5

Meßphase 5

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	252.4	243.8	49.6	42.4
K2	251.4	267.5	68.2	33.5
K3	242.9	247.8	53.4	57.7
K4	258.8	242.1	68.9	52.5
K5	248.1	278.8	72.5	58.9
K6	258.7	238.9	45.1	35.9
K7	258.3	249.8	49.2	43.8
K8	238.9	259.8	44.7	59.8
K9	295.2	282.8	46.6	32.4
K10	252.6	243.3	47.8	52.6
Mittelwert	252.5	254.5	53.8	46.9
Standardabw.	15.9	16.8	7.9	18.7

Meßphase 6

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	251.5	248.5	48.2	39.8
K2	252.1	269.7	67.8	32.4
K3	237.8	244.8	54.7	59.4
K4	251.9	241.3	65.5	56.4
K5	238.5	283.5	72.8	57.4
K6	254.6	225.1	39.3	38.6
K7	252.7	249.3	49.7	43.9
K8	242.8	268.2	44.8	59.4
K9	298.2	274.3	48.7	35.1
K10	251.8	241.1	48.4	54.1
Mittelwert	252.3	253.8	53.9	47.6
Standardabw.	14.7	18.3	18.8	18.8

Meßphase 7

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	245.5	242.5	48.8	38.7
K2	268.1	286.8	72.7	34.9
K3	231.5	241.7	53.1	58.6
K4	258.9	242.2	64.7	55.6
K5	235.2	284.6	72.8	57.3
K6	255.1	235.8	36.9	48.8
K7	244.3	245.1	47.6	43.2
K8	246.8	261.8	48.3	62.2
K9	291.8	272.5	47.6	34.5
K10	251.1	241.2	45.2	52.9
Mittelwert	252.8	255.3	53.7	47.8
Standardabw.	17.1	19.4	12.8	18.6

Meßphase 8

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	246.5	241.5	42.2	39.7
K2	252.9	284.9	71.5	38.8
K3	234.9	244.3	52.5	57.5
K4	251.3	248.7	65.9	58.4
K5	233.4	284.3	72.1	56.9
K6	248.4	237.3	35.1	48.8
K7	242.2	243.4	58.2	43.3
K8	263.1	263.1	51.8	66.6
K9	283.8	272.7	58.2	34.2
K10	251.1	241.6	38.5	47.8
Mittelwert	249.9	255.4	52.9	47.4
Standardabw.	14.7	19.8	13.1	11.9

Meßphase 9

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	PO2(mmHg) unbeh.	PO2(mmHg) beh.
K1	244.8	241.1	43.8	48.9
K2	265.9	293.1	78.7	25.3
K3	232.4	242.9	58.1	58.8
K4	245.2	241.7	78.2	61.3
K5	232.4	281.6	72.1	57.5
K6	232.2	227.9	38.5	42.4
K7	243.8	243.7	58.6	43.8
K8	259.3	262.9	52.8	67.8
K9	273.6	273.8	48.3	33.7
K10	258.5	242.3	38.4	47.8
Mittelwert	248.8	255.1	53.6	47.7
Standardabw.	14.5	21.4	13.8	13.1

Meßphase 10

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	P02(mmHg) unbeh.	P02(mmHg) beh.
K1	245.9	239.8	47.2	34.2
K2	268.9	293.3	69.6	18.9
K3	228.2	241.1	49.7	61.0
K4	247.7	239.2	65.7	56.8
K5	229.6	279.9	72.1	58.1
K6	222.9	222.1	42.1	41.1
K7	249.9	247.6	56.5	45.5
K8	252.6	261.9	54.3	68.4
K9	272.7	275.6	45.1	31.2
K10	244.7	243.8	36.9	54.4
Mittelwert	246.3	254.4	53.9	47.0
Standardabw.	16.4	22.3	12.0	15.5

Meßphase 11

	H(mm) unbeh.	H(mm) beh.	P02(mmHg) unbeh.	P02(mmHg) beh.
K1	258.5	246.7	46.6	41.8
K2	268.6	312.4	67.9	9.7
K3	229.2	239.1	46.8	60.8
K4	246.9	235.1	68.5	58.3
K5	238.4	278.0	72.4	58.7
K6	224.5	215.1	48.4	42.7
K7	246.9	246.4	56.4	46.5
K8	249.9	262.9	54.0	67.7
K9	271.1	287.2	45.3	29.7
K10	247.8	242.1	31.9	52.9
Mittelwert	246.6	256.5	53.0	46.9
Standardabw.	15.5	28.8	13.3	17.2

Differenz der Mittelwerte: MP 1 - MP 2

	H(mM) unbeh	H(mM) beh	P02(‰Hg) unbeh	P02(‰Hg) beh
Proband K1	-3,2	-0,7	-0,3	4,3
Proband K2	-3,3	-6,3	-2,9	-1,6
Proband K3	-0,9	-7,0	0,6	-3,7
Proband K4	-1,0	-1,6	-2,3	-2,7
Proband K5	-3,6	-7,4	-0,3	-0,3
Proband K6	-10,1	3,4	2,5	-0,8
Proband K7	-1,6	5,0	-0,7	-0,7
Proband K8	0,5	-0,1	2,5	4,9
Proband K9	-1,3	-0,3	-1,7	-0,1
Proband K10	1,4	0,0	0,3	-0,7

Differenz der Mittelwerte: MP 2 - MP 3

	H(mM) unbeh	H(mM) beh	P02(‰Hg) unbeh	P02(‰Hg) beh
Proband K1	3,5	2,1	-0,4	-3,0
Proband K2	-7,4	-4,4	-0,6	-0,1
Proband K3	-9,1	-5,6	2,1	-2,1
Proband K4	-2,5	-3,0	1,9	2,3
Proband K5	-1,5	-1,5	-1,2	-1,4
Proband K6	10,5	2,9	1,6	0,4
Proband K7	3,2	0,1	-0,7	-0,1
Proband K8	4,9	0,5	1,4	0,1
Proband K9	-7,2	-5,4	0,2	1,5
Proband K10	1,4	3,7	-0,7	0,7

Differenz der Mittelwerte: MP 3 - MP 4

	H(mM) unbeh	H(mM) beh	P02(‰Hg) unbeh	P02(‰Hg) beh
Proband K1	1,1	-1,2	2,0	0,6
Proband K2	-3,3	-2,1	-0,8	0,3
Proband K3	2,2	-1,2	0,9	-1,3
Proband K4	3,0	1,2	-4,6	-5,1
Proband K5	-1,6	2,2	-0,3	-0,4
Proband K6	0,6	-3,6	3,5	0,9
Proband K7	-0,6	1,1	0,1	-2,4
Proband K8	10,3	0,7	0,4	0,3
Proband K9	-10,4	4,8	1,4	0,1
Proband K10	3,4	-1,2	-3,2	-4,6

Differenz der Mittelwerte: MP 4 - MP 5

	H(aw) unbeh	H(aw) beh	P02(mmHg) unbeh	P02(mmHg) beh
Proband K1	-0.9	0.2	0.6	0.6
Proband K2	-1.8	0.7	-1.0	0.5
Proband K3	1.1	2.8	-2.0	-2.1
Proband K4	1.6	-1.4	5.0	4.5
Proband K5	0.4	-1.1	-0.6	-0.3
Proband K6	0.3	0.4	2.5	2.2
Proband K7	0.2	2.3	-1.4	-1.2
Proband K8	11.1	-0.6	-1.8	-0.6
Proband K9	-2.3	-2.4	-0.7	-0.1
Proband K10	-0.2	0.5	3.4	0.7

Differenz der Mittelwerte: MP 5 - MP 6

	H(aw) unbeh	H(aw) beh	P02(mmHg) unbeh	P02(mmHg) beh
Proband K1	0.9	3.3	1.4	3.4
Proband K2	-0.7	-2.2	0.	1.1
Proband K3	5.9	3.0	-1.7	-1.7
Proband K4	-1.1	0.8	-4.6	-3.9
Proband K5	1.6	-4.7	0.3	1.5
Proband K6	-2.9	5.0	5.0	-2.7
Proband K7	-0.4	0.5	-0.5	-0.1
Proband K8	-2.9	-1.2	-0.1	0.4
Proband K9	5.0	7.7	-2.1	-2.7
Proband K10	0.3	2.2	-0.6	-1.5

Differenz der Mittelwerte: MP 6 - MP 7

	H(aw) unbeh	H(aw) beh	P02(mmHg) unbeh	P02(mmHg) beh
Proband K1	5.0	-2.0	-0.6	0.3
Proband K2	-15.0	-17.1	-4.9	-2.5
Proband K3	5.5	3.1	1.6	0.8
Proband K4	1.0	-0.9	0.0	0.0
Proband K5	1.0	-1.1	0.0	0.1
Proband K6	-0.5	-10.7	2.4	-1.4
Proband K7	5.4	4.2	2.1	0.7
Proband K8	-4.0	-0.8	-3.5	-2.0
Proband K9	-0.8	1.0	1.1	0.6
Proband K10	0.7	-0.1	3.2	1.2

Differenz der Mittelwerte: MP 7 - MP 8

	H(aM) unbeh	H(aM) beh	PO2(mmHg) unbeh	PO2(mmHg) beh
Proband K1	-1.0	1.0	6.6	-1.0
Proband K2	15.2	1.9	1.2	4.9
Proband K3	-3.4	-2.6	0.3	1.1
Proband K4	-0.4	1.5	-1.1	-2.8
Proband K5	1.8	0.3	-0.1	0.4
Proband K6	14.7	-1.5	1.8	-0.8
Proband K7	2.1	1.7	-2.6	-0.1
Proband K8	-16.3	-2.1	-2.7	-4.4
Proband K9	8.0	-0.2	-2.6	0.3
Proband K10	0.0	-0.4	6.7	5.9

Differenz der Mittelwerte: MP 8 - MP 9

	H(aM) unbeh	H(aM) beh	PO2(mmHg) unbeh	PO2(mmHg) beh
Proband K1	1.7	0.4	-1.6	-1.2
Proband K2	-13.0	-0.2	0.9	4.7
Proband K3	2.5	1.4	2.7	-0.5
Proband K4	6.1	-1.0	-4.4	-2.9
Proband K5	1.0	2.7	0.0	-0.6
Proband K6	9.2	9.4	-3.4	-1.6
Proband K7	-1.6	-0.3	-0.4	0.3
Proband K8	3.8	0.2	-1.8	-0.4
Proband K9	9.4	-1.1	1.9	0.5
Proband K10	0.6	-0.7	0.1	-0.8

Differenz der Mittelwerte: MP 9 - MP 10

	H(aM) unbeh	H(aM) beh	PO2(mmHg) unbeh	PO2(mmHg) beh
Proband K1	-1.1	1.3	-3.4	6.7
Proband K2	-3.0	-0.2	1.1	6.4
Proband K3	4.2	1.8	0.4	-3.0
Proband K4	-2.5	2.5	4.5	4.5
Proband K5	2.8	1.7	0.0	-0.6
Proband K6	9.3	5.8	-3.6	1.3
Proband K7	-6.1	-3.9	-5.9	-2.5
Proband K8	6.7	1.0	-1.5	-1.4
Proband K9	0.9	-1.8	3.2	2.5
Proband K10	3.8	-1.5	1.5	-6.6

Differenz der Mittelwerte: MP 10 - MP 11

	H(aW) unbeh	H(aW) beh	P02(mHg) unbeh	P02(mHg) beh
Proband K1	-4.6	-6.9	0.6	-7.6
Proband K2	0.3	-19.1	1.0	9.2
Proband K3	-1.0	2.0	2.9	0.2
Proband K4	0.8	4.1	-2.0	-1.5
Proband K5	-0.8	1.9	-0.3	-0.6
Proband K6	-1.6	7.0	1.7	-1.6
Proband K7	3.0	1.2	0.1	-1.0
Proband K8	2.7	-1.0	0.3	0.7
Proband K9	1.6	-11.6	-0.2	1.5
Proband K10	-2.1	1.7	5.0	1.5

Differenz der Mittelwerte: MP 1 - MP 3

	H(aW) unbeh	H(aW) beh	P02(mHg) unbeh	P02(mHg) beh
Proband K1	0.3	1.4	-0.7	1.3
Proband K2	-10.7	-10.7	-3.5	-1.7
Proband K3	-19.0	-12.6	2.9	-5.8
Proband K4	-4.3	-4.6	-0.4	-0.4
Proband K5	-5.1	-0.9	-1.5	-1.7
Proband K6	0.4	6.3	4.1	-0.4
Proband K7	1.6	5.9	-1.4	-0.8
Proband K8	5.4	0.4	3.9	5.0
Proband K9	-0.5	-5.7	-1.5	1.4
Proband K10	2.3	4.5	-0.4	0.0

Differenz der Mittelwerte: MP 3 - MP 5

	H(aW) unbeh	H(aW) beh	P02(mHg) unbeh	P02(mHg) beh
Proband K1	0.2	-1.0	2.6	9.2
Proband K2	-5.1	-1.4	-1.8	0.8
Proband K3	2.3	1.6	-1.1	-3.4
Proband K4	4.6	-0.2	0.4	-0.6
Proband K5	-1.2	1.1	-0.9	-0.7
Proband K6	9.4	-3.2	6.0	3.1
Proband K7	-0.4	3.4	-1.3	-3.6
Proband K8	21.4	0.1	-1.4	-0.3
Proband K9	-13.2	2.4	0.7	0.0
Proband K10	3.1	-0.7	0.1	-3.9

Differenz der Mittelwerte: MP 5 - MP 7

	H(mM) unbeh	H(mM) beh	PO2(mmHg) unbeh	PO2(mmHg) beh
Proband K1	6.9	1.3	0.8	3.7
Proband K2	-16.7	-19.3	-4.7	-1.4
Proband K3	11.4	6.1	0.3	-0.9
Proband K4	-0.1	-0.1	-3.8	-3.1
Proband K5	4.9	-5.8	0.6	1.6
Proband K6	-4.4	-4.9	0.2	-4.1
Proband K7	6.0	4.7	1.6	0.6
Proband K8	-7.9	-2.0	-3.6	-2.4
Proband K9	4.2	9.5	-1.0	-2.1
Proband K10	1.5	2.1	2.6	-0.3

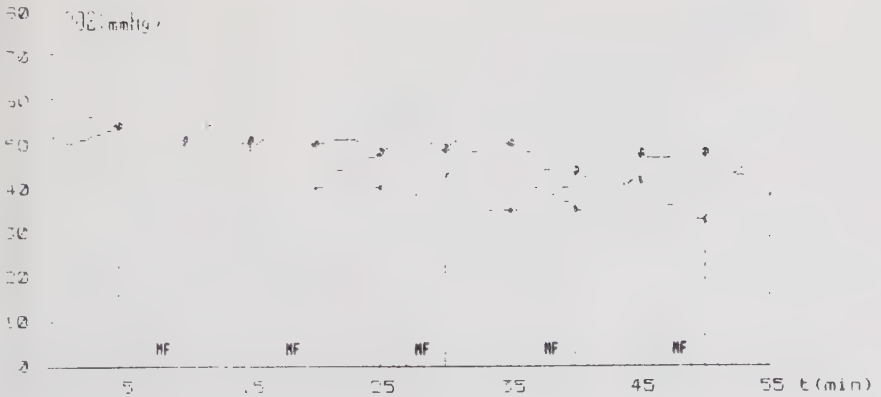
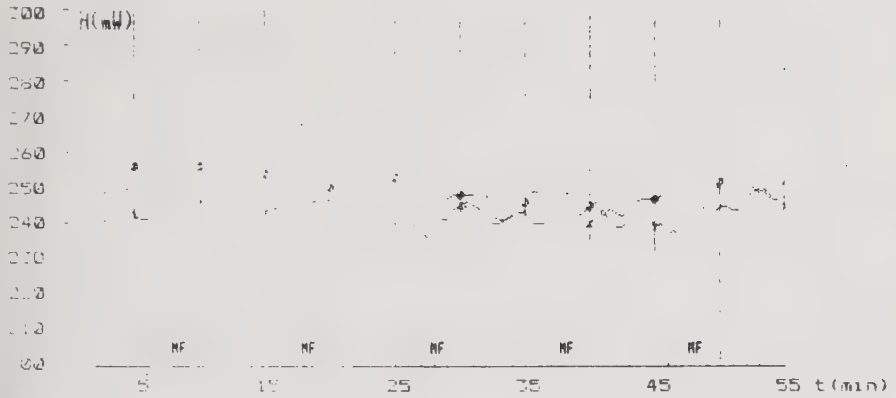
Differenz der Mittelwerte: MP 7 - MP 9

	H(mM) unbeh	H(mM) beh	PO2(mmHg) unbeh	PO2(mmHg) beh
Proband K1	0.7	1.4	5.3	-2.2
Proband K2	2.2	-6.3	2.3	9.6
Proband K3	-0.9	-1.2	3.3	0.6
Proband K4	5.7	0.5	-5.5	-5.7
Proband K5	2.8	3.0	-0.1	-0.2
Proband K6	22.9	7.9	-1.6	-2.4
Proband K7	0.5	1.4	-3.3	0.2
Proband K8	-12.5	-1.9	-4.5	-4.8
Proband K9	17.4	-1.3	-0.7	0.8
Proband K10	0.6	-1.1	5.8	5.1

Differenz der Mittelwerte: MP 9 - MP 11

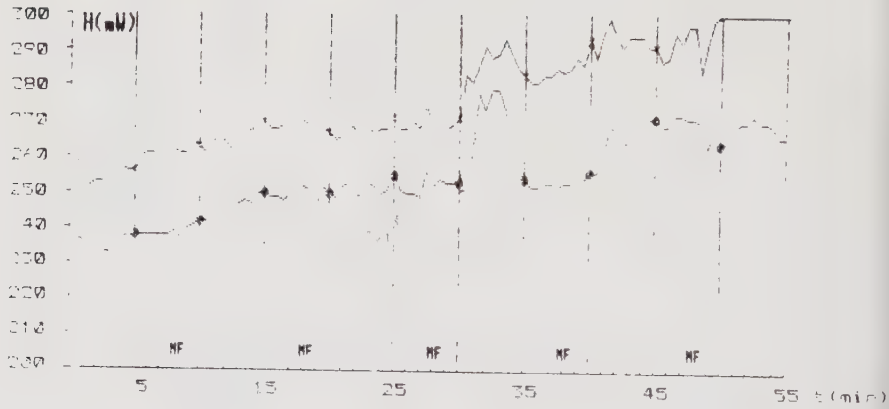
	H(mM) unbeh	H(mM) beh	PO2(mmHg) unbeh	PO2(mmHg) beh
Proband K1	-5.7	-5.6	-2.8	-0.9
Proband K2	-2.7	-19.3	2.9	15.6
Proband K3	3.2	3.8	3.3	-2.8
Proband K4	-1.7	6.6	1.7	3.0
Proband K5	2.0	3.6	-0.3	-1.2
Proband K6	7.7	12.8	-1.9	-0.3
Proband K7	-3.1	-2.7	-5.8	-3.5
Proband K8	9.4	0.0	-1.2	-0.7
Proband K9	2.5	-13.4	3.0	4.0
Proband K10	2.7	0.2	6.5	-5.1

Probands K1



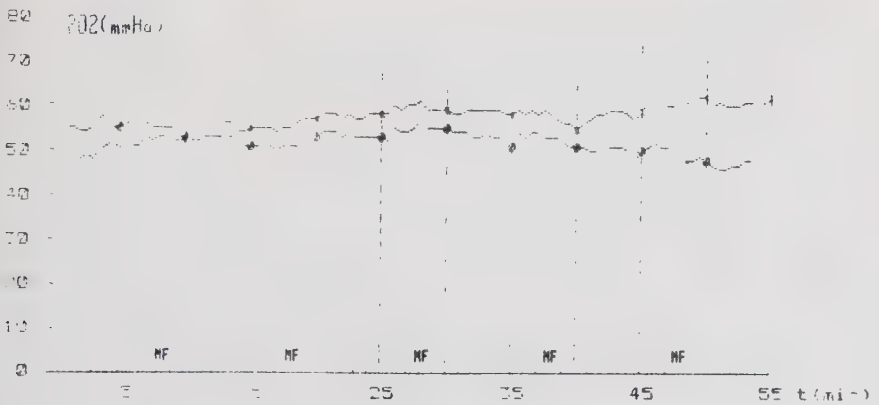
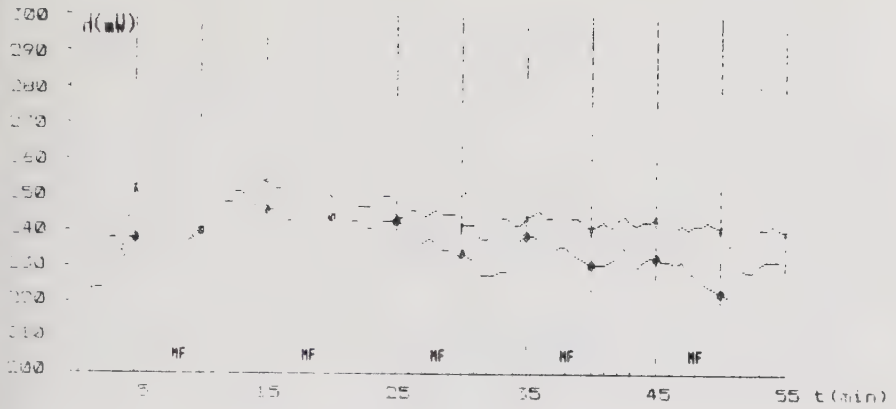
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Proband K2



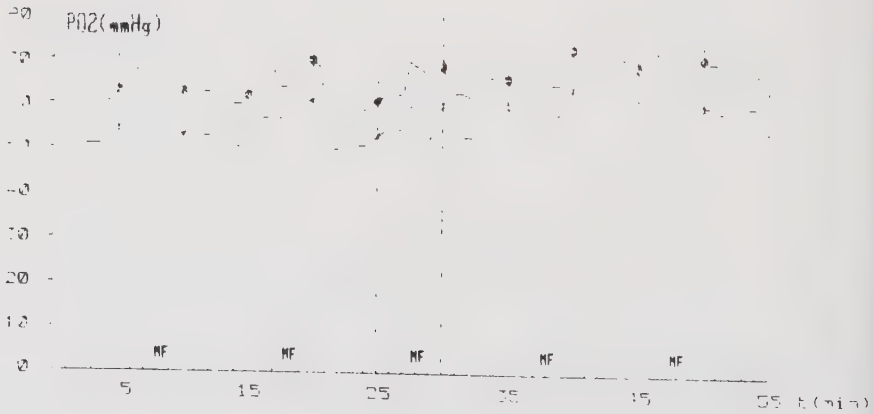
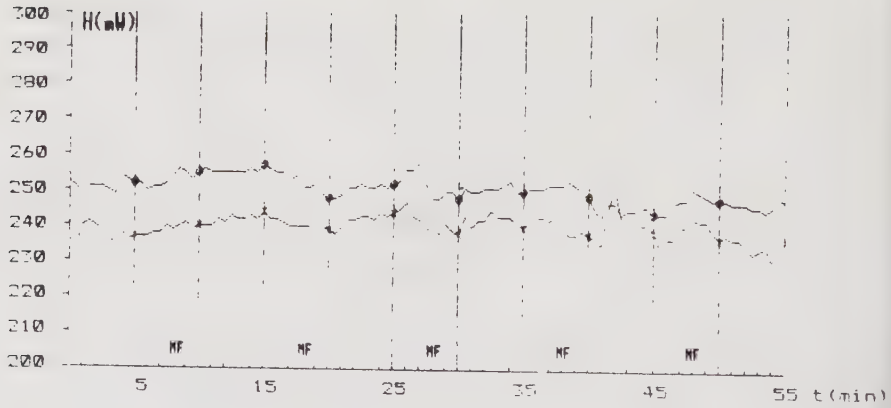
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Proband: K3



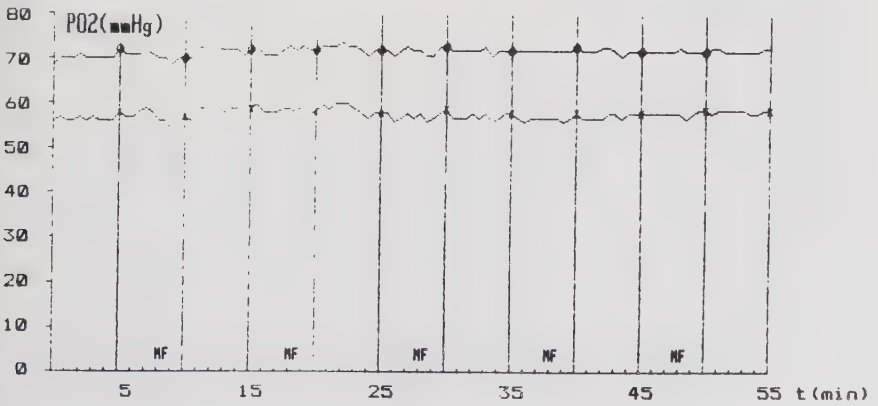
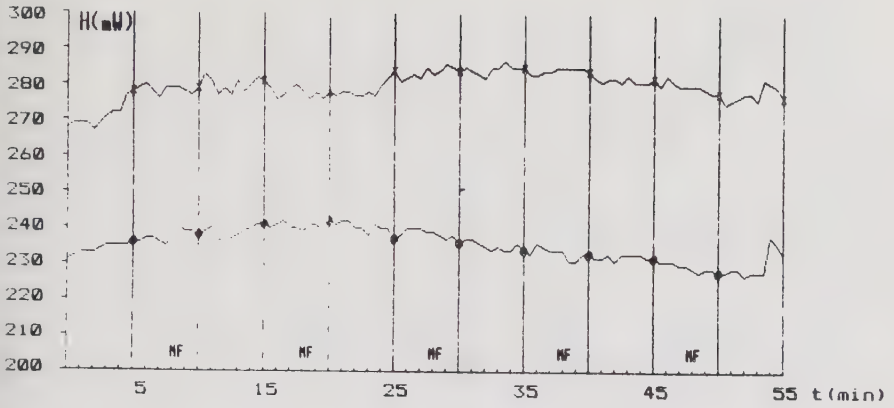
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Proband: K4



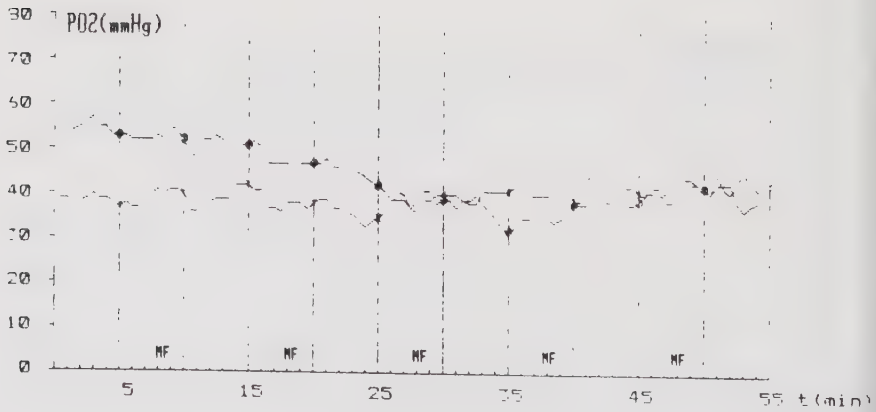
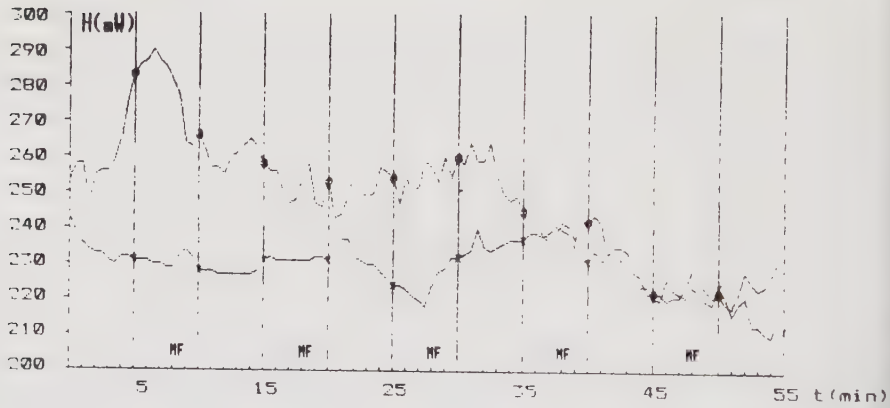
□ unbehandelte Seite x behandelte Seite

Probandi: K5



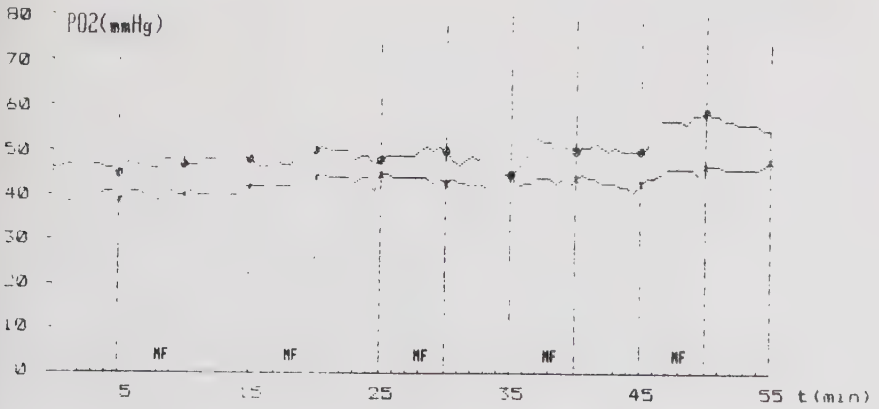
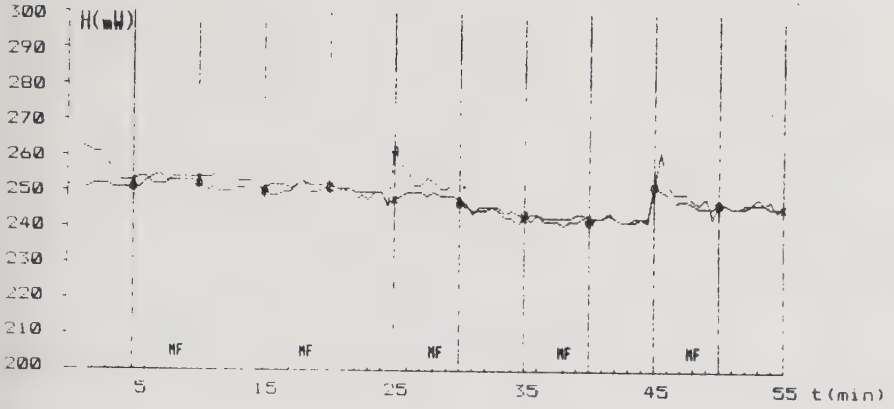
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Probandi: K6



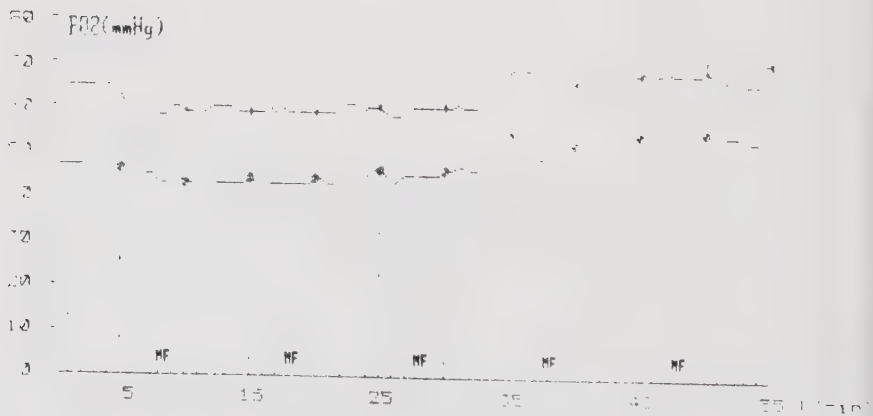
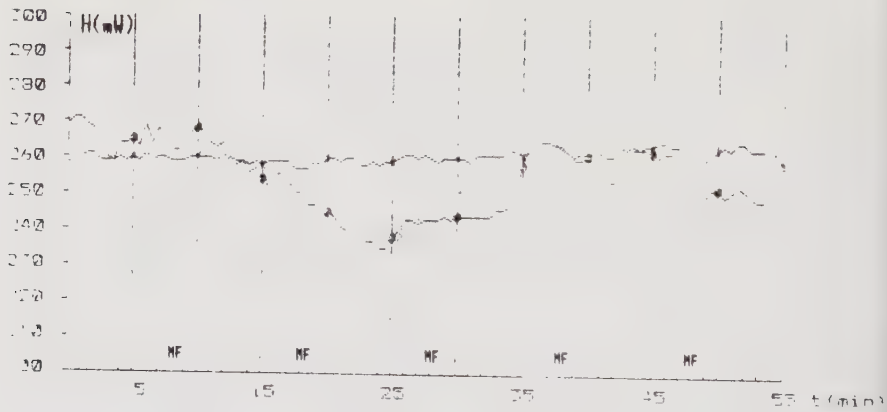
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Proband: K7



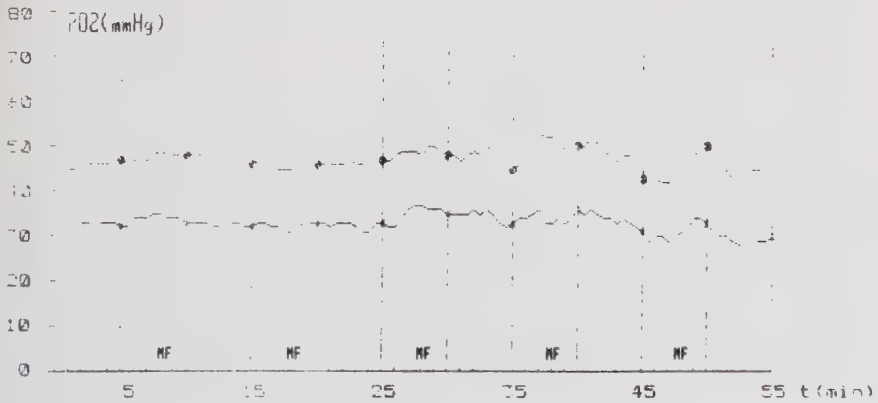
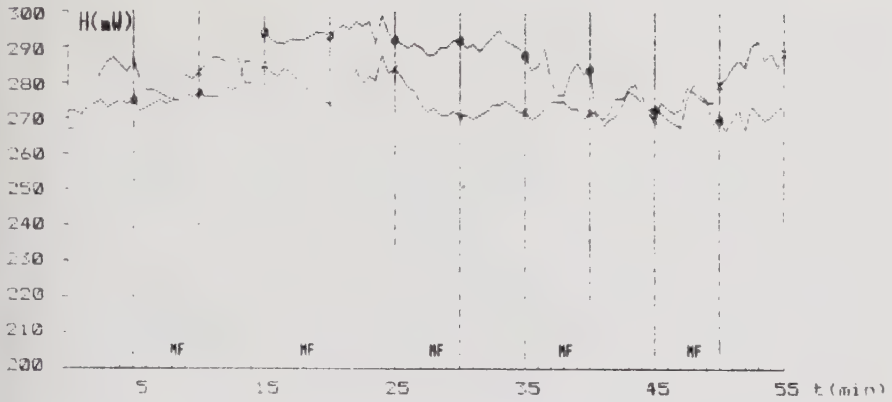
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Proband: KB



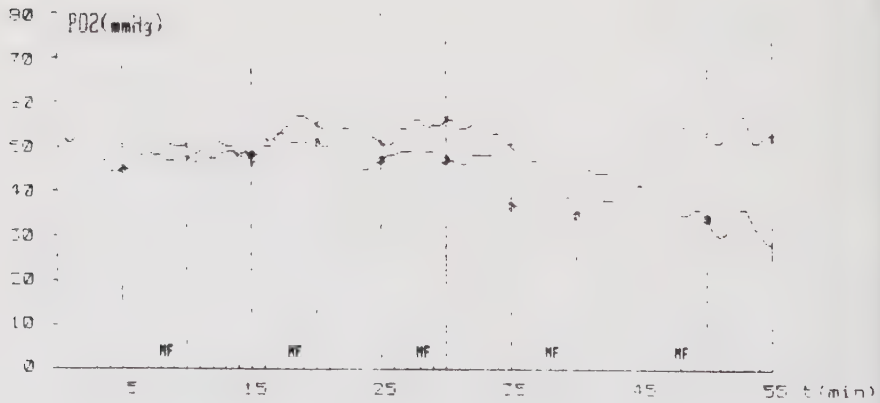
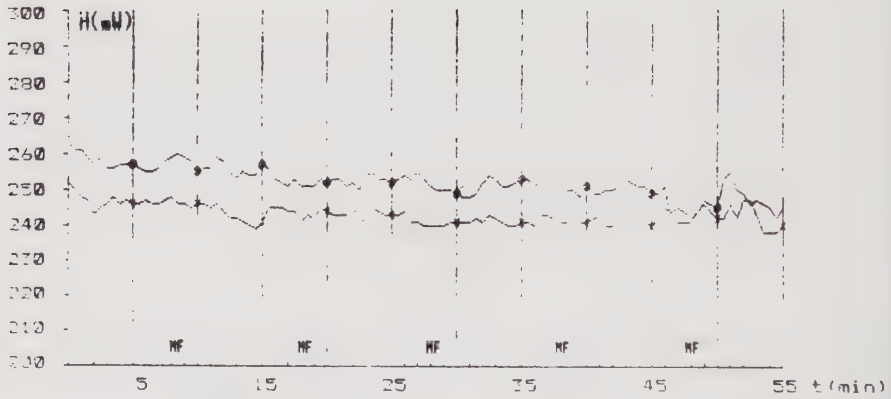
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Proband: K9



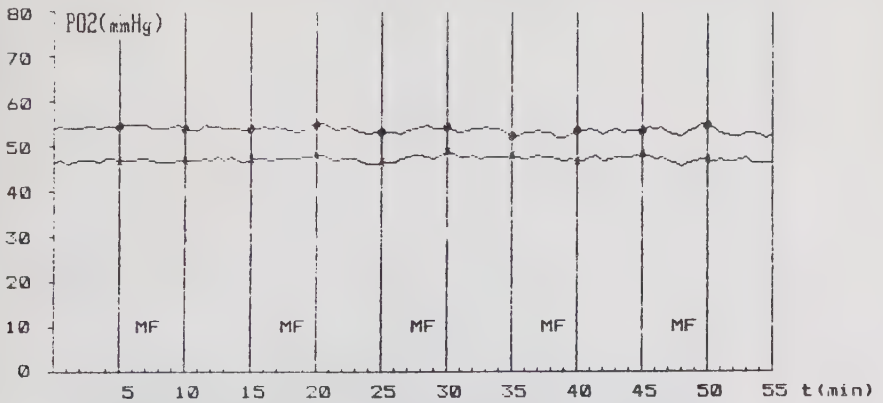
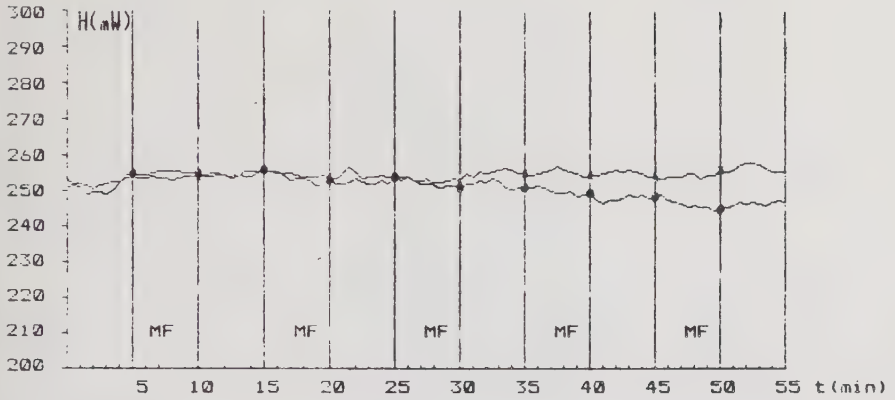
o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Proband: K10



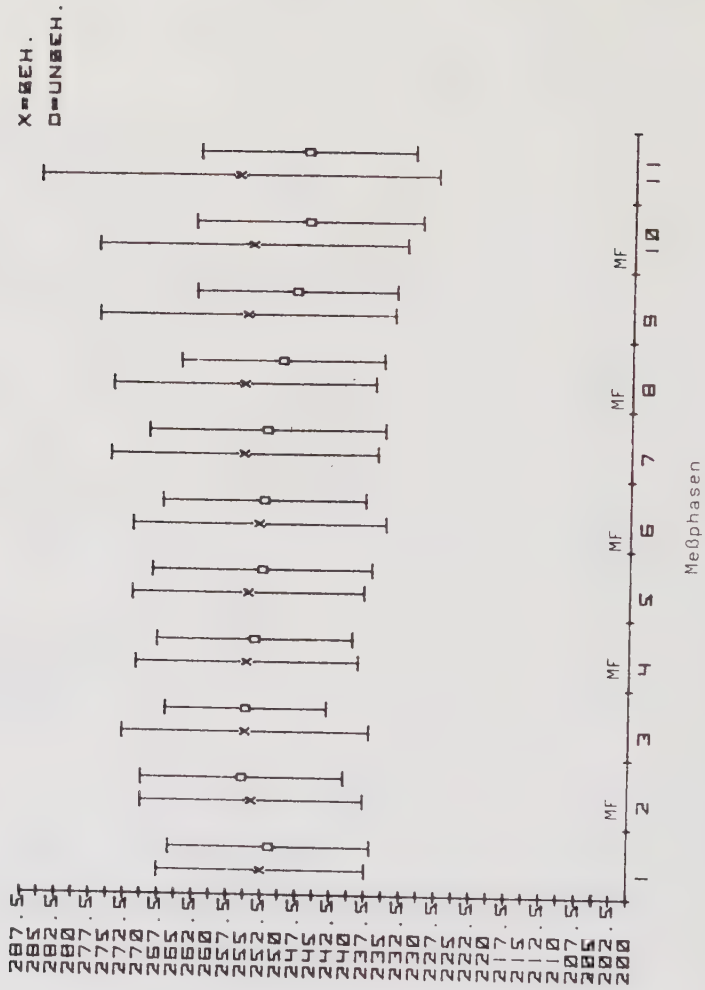
□ unbehandelte Seite ● behandelte Seite

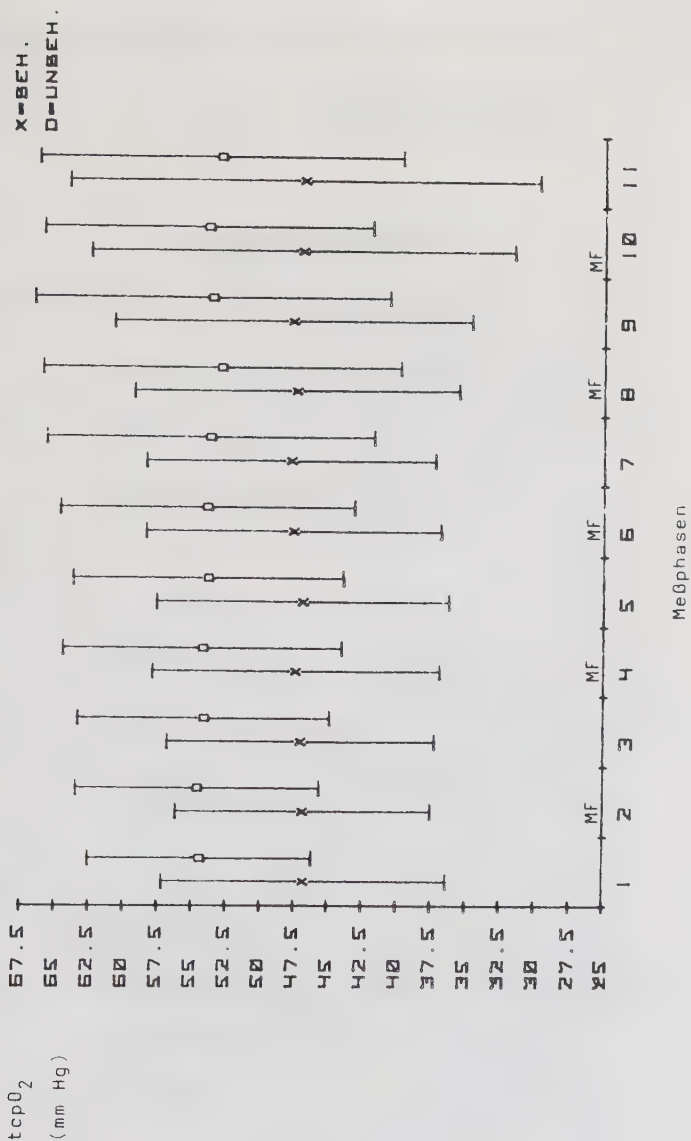
mittlere Kurve aller Probanden



o unbehandelte Seite x behandelte Seite

Verlauf der Heizleistung (MW und SAW)



Verlauf des tcpO_2 (MW und SAW,

7.3. GERÄTEBESCHREIBUNG

Die erhobenen Daten wurden an einem Personal Computer Victor 9000 über die Tastatur eingegeben, zur Kontrolle auf einem Matrixdrucker ausgegeben und bei Bedarf korrigiert. Beim Eingeben wurden automatisch Mittelwert und Standardabweichung errechnet und mit abgespeichert.

Für jeden Probanden wurde eine Datei auf Diskette angelegt. Alle Programme zur Darstellung in Tabellenform, zum Plot bzw. zur Auswertung greifen auf diese Dateien zu und arbeiten größtenteils menuegesteuert. Als Sprache wurde einheitlich Microsoft GWBASIC eingesetzt, da hier die Möglichkeit bestand, Bildschirmgrafiken zu erzeugen (Hardcopies siehe Anhang).

Die Fallzahlschätzung nach Casagrande wurde mit einem Hewlett & Packard Tischrechner im ISB Großhadern erstellt.

Die Temperatur wurde mit Temperaturfühlern der Firma Yellow Springs Instruments Nr. 421 gemessen. Die analogen Meßwerte wurden digitalisiert in einen Personalcomputer (Commodore) übertragen und anschließend analog ausgedruckt.

Der transcutane Sauerstoffpartialdruck wurde mit einem Meßgerät der Firma Radiometer gemessen. Die technischen Daten dazu sind nachfolgend aufgeführt.

Das Magnetfeldtherapiegerät, bestehend aus einer Steuereinheit und einer Spule, mit der Bezeichnung Duomag Vier weist folgende Technische Daten auf:

- Netzanschluß 220 Volt 50 Hz
- maximale Stromaufnahme 3.6 Ampere
- Intensität 1 bis 100 Gauss
- Frequenz 1 bis 50 Hz
- Breite 488 mm
- Höhe maximal 270 mm
- Tiefe 421 mm
- Gewicht 11.0 kg

TECHNISCHE DATEN

[illegible]

TCM2 TC-SAUERSTOFFMONITOR

<u>Po₂</u> :	Bereich:	0-999 mmHg oder 0-99,9 kPa ^a
	Ungenauigkeit:	≤ ± 1 mmHg/0,1 kPa $\pm$ 0,1% der Ablesung bei 25°C
	Drift:	Po ₂ -Empfindlichkeit: <0,1%/°C Null: <0,2 mmHg/°C
	Polarisationsspannung:	680 mV

Wärme (HEAT):

HEAT ACT (aktueller Elektroden-Wärmeverbrauch):

Bereich: 0-600 mW
Ungenauigkeit: $\leq \pm 10 \text{ mW } \pm 10\%$ der
Ableseung

HEAT DEV (Wärmeabweichung - relativer Elektrodenwärmeverbrauch):

Bereich: -99 bis +99 mW
Ungenauigkeit: $\leq \pm 10\%$ der Ablesung

Temperaturein- 37,0°C; 42,0°C; 42,5°C; 43,0°C; 43,5°C; 44,0°C; 44,5°C
stellung: und 45,0°C

Ungenauigkeit: $\leq \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ einschl. E5242

<u>Alarme:</u>	PO ₂ -Alarmgrenzen (wählbar)	LOW (niedrige): 0-99 mmHg HIGH (Hohe): 0-999 mmHg
	HEAT DEV.	-99 bis +99 mW
	Temperatur:	±0,1 °C Abweichung vom vorgegebenen Wert löst Alarm aus
	BATTERY LOW (Batterie verbraucht)	Alarm startet, ehe die Batterie ganz verbraucht ist

* TCM2 kann so modifiziert werden, dass er die O₂-Spannung direkt in kPa anzeigt. Zur Modifizierung fordert man den lokalen Radiometer-Kundendienst an.

----- TECHNISCHE DATEN -----

<u>Eichung:</u>	Automatische Einpunkt-Gaseichung mit atmosphärischer Luft auf vorgegebenen Wert.	
<u>Leistung:</u>	Automatische Kontrolle der Elektrodenleistung während der Eichung.	
<u>Batterie:</u>	Typ:	Nachladbare Ni-Cd-Batterie
	Wirkleistung:	6 Stunden bei 25°C typisch pro Ladung
	Nachladezeit:	ca. 6 Stunden bei 25°C über TCM200 TC-Schreiber.
<u>Stromversorgung:</u>	5,5 V DC (Gleichstrom)- 8,5 V DC, typisch 300 mA (400 mA während der Elektrodenbeheizung)	
<u>Gehäuseleckstrom:</u>	< 100 uA	
<u>Patientenleckstrom:</u>	< 10 uA	
<u>Abmessungen:</u>	Höhe (insgesamt)	20,5 cm
	Breite	11,5 cm
	Tiefe	26,5 cm
<u>Gewicht:</u>	2,6 kg	
<u>Gehäuse:</u>	Aluminium mit chemisch beständigem Anstrich.	
<u>Konstruktion:</u>	TCM2 entspricht in seiner Konstruktion den Bestimmungen für Patientensicherheit der IEC 601, UL544 und CSA 22,2 Nr. 125.	

E5242 tc-Po₂-Elektrode

<u>Nullstrom:</u>	Typisch unter dem Äquivalent von 2 mmHg
<u>Drift im Eichwert:</u>	Typisch unter 1 mmHg pro Stunde (nach Beendigung der Eichung am TCM2)
<u>Höhe:</u>	11,3 mm
<u>Durchmesser:</u>	33,4 mm mit Fixierring, 15 mm ohne diesem

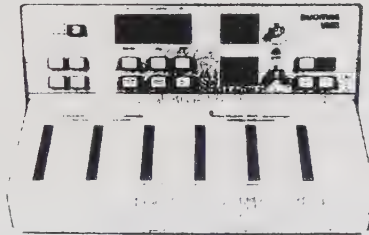
----- TECHNISCHE DATEN -----

Ag-Anode: $\varnothing$ 6,6 mm

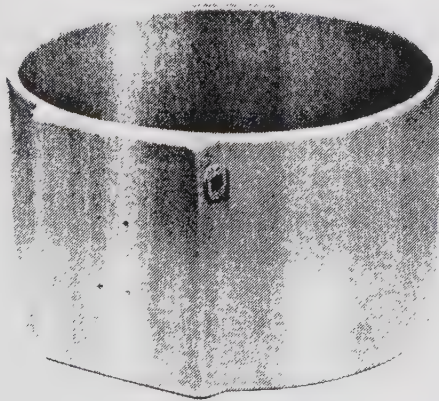
Pt-Kathode: 25u

Elektrodenkabel: 2,25 m

Gewicht: 2,8 kg (Fühlerkopf ohne Fixierring)



Magnetfeldtherapie-Gerät
DUOMAG VIER



Magnetfeldspule exzentrisch als Stand- oder
Wand- bzw. Kurzarm-Spule verwendbar
(mit integriertem Fuß)

Berechnung der möglichen Abschwächung des Magnetfeldes durch die in der Sauerstoffelektrode integrierte Silberanode:

Induktionsgesetz: $u = \frac{d\phi}{dt} = A \cdot \frac{dB}{dt}$; daraus Amplitude $\hat{U} = A \omega \hat{B}$

$$\hat{U} = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot \omega \hat{B} ;$$

$I = \frac{U}{R}$ mit $R = \frac{1}{\sigma A} = \frac{D \pi}{\sigma a L}$; D = Länge des Stromweges
 $a \cdot L$ = Querschnitt des Stromweges

$$\hat{I} = \frac{\hat{U}}{R} = \frac{D^2 \pi \cdot \omega \cdot \hat{B}}{4} \cdot \frac{\sigma a L}{D \pi} = \frac{D \omega \hat{B} \sigma a L}{4} ;$$

daraus $B_{\text{sekundär}} = B^*$ aus $H \cdot L = I$; $B = \mu_0 \cdot H = \mu_0 \frac{I}{L}$;

$$B^* = \frac{\mu_0 D \omega \hat{B} \sigma a L}{4 L} = \frac{\mu_0 D \omega \hat{B} \sigma a}{4} ;$$

$$\frac{\hat{B}^*}{\hat{B}} = \frac{\mu_0 D \omega \sigma a}{4}$$

$$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$D = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m Anodendurchmesser}$$

$$\omega = 2 \cdot 50 \text{ Hz}$$

$$\sigma = 60 \cdot 10^6 \text{ S/m für Silber}$$

$$a = 0.5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Anodenringdicke}$$

$$\frac{\hat{B}^*}{\hat{B}} = \frac{4 \cdot 10^{-7} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{4}$$

$$\frac{\hat{B}^*}{\hat{B}} = 0.024 ;$$

Durch die Silberanode wird unter Zugrundelegung der o.g. Werte das Magnetfeld um höchstens 2.4 % abgeschwächt.

7.4. PROBANDENFRAGEBOGEN

Name:..... Vorname:.....

geb.:..... Größe:..... Gewicht:.....

Beantworten Sie bitte folgende Fragen über Ihren Gesundheitszustand wahrheitsgemäß mit Ja, Nein oder weiß nicht:

1. Befanden Sie sich in den letzten 3 Monaten in ärztlicher Behandlung ?
 2. Wenn Ja, wegen welcher Erkrankung?
 3. Nehmen Sie zur Zeit Medikamente ein, wenn Ja welche?
 4. Rauchen Sie, wenn Ja , wieviel?
 5. Trinken Sie Alkohol, wenn Ja, wieviel?
- Leiden Sie an einer der folgenden Erkrankungen?
1. Herzerkrankungen (z.B. Herzfehler, Herzschwäche, Herzmuskelentzündung, Herzinfarkt)?.....
 2. Kreislauferkrankungen (z.B. hoher oder niedriger Blutdruck, Kreislaufschwäche, Atemnot bei Belastung)?
 3. Gefäßerkrankungen (z.B. Durchblutungsstörungen, Krampfadern, Thrombose)?.....
 4. Lungenerkrankung (z.B. Tuberkulose, Staublunge, Lungenentzündung, Lungenblähung)?.....
 5. Atemwegserkrankung (z.B. Asthma, chronische Bronchitis)?
 6. Stoffwechselerkrankung (z.B. Zuckerkrankheit, Gicht)?
 7. Schilddrüsenerkrankung (z.B. Kropf)?.....
 8. Lebererkrankung (z.B. Leberverhärtung, Fettleber, Gelbsucht)?.....
 9. Nierenerkrankung (z.B. Nierenentzündung, Nierensteine)?
 10. Allergien?.....

11. Leiden Sie an einer anderen, oben nicht aufgeführten
 Erkrankung, wenn Ja, an welcher?.....

München, den.....
 Unterschrift

8. ZUSAMMENFASSUNG

In einer Phase I-Studie, zur Vorbereitung auf eine kontrollierte klinische Studie (Phase II-Studie), wurde der Effekt der äußerlich angewandten Magnetfeldtherapie auf die periphere Durchblutung bei gesunden Probanden untersucht. Die Größe eines eventuellen Unterschiedes in der Durchblutung sollte als Grundlage für die Fallzahlschätzung einer kontrollierten klinischen Studie herangezogen werden.

Als Meßparameter dienten die Hauttemperatur, der transcutane Sauerstoffpartialdruck und die Heizleistung der Sauerstoffelektrode.

Im ersten Versuchsdurchgang wurde im Seitenvergleich untersucht, ob ein gepulstes elektromagnetisches Feld (Intensität 40 Gauss, Frequenz 12 Hz und 100 Gauss, Frequenz 50 Hz) einen durchblutungssteigernden Effekt ausübt. Im zweiten Versuchsdurchgang wurde durch periodisches Ein- und Ausschalten (Dauer jeweils 5 Minuten bei 40 Gauss, 12 Hz) des Magnetfeldes ein, in der Literatur beschriebener, On-Off-Effekt der Perfusionsänderung untersucht.

Die Ergebnisse zeigten mit der verwandten Meßmethodik keinen durchblutungssteigernden Effekt der äußerlich angewandten Magnetfeldtherapie; ebenso konnte kein On-Off-Effekt nachgewiesen werden. Die beobachteten Änderungen der peripheren Durchblutung traten unabhängig von der Anwendung des Magnetfeldes auf. Sie sind dem Bereich der physiologischen Durchblutungsschwankungen zu zuordnen.

Als validiertes Ergebnis der vorliegenden Studie ist anzusehen, daß eine kontrollierte klinische Studie nur dann durchführbar wäre (mit vertretbaren Fallzahlen), wenn der Effekt über dem der physiologischen Durchblutungsschwankungen

läge. Dies ist nicht der Fall.

Der Beweis der Wirksamkeit dieser Therapieform hinsichtlich der Durchblutungssteigerung dürfte deshalb in weite Ferne gerückt sein.

Ich bedanke mich bei Herrn Privatdozent Dr. med. F. Eitel für das Thema der Dissertation und für seine kritischen und produktiven Anregungen.

Herrn Prof. Dr. med. A. Doenicke danke ich für die Überlassung seines Untersuchungslabors für die Zeitdauer der Versuchsdurchführung.

Herrn Dr. med. H. Suttman und Herrn Dipl.-Ing. H. Ebentheuer danke ich für die Mithilfe bei der Meßtechnik.

Herrn Prof. Raum und Herrn Prof. Dr. Schwab von der Fachhochschule München danke ich für die technisch-physikalische Untersuchung des Magnetfeldtherapiegerätes.

Frau Dipl.-Inform. Schuberth-Fritschle danke ich für die statistische Beratung.

Herrn Dipl.-Phys. H. Hotzel danke ich für die Erstellung aller EDV-Programme zur Auswertung der Meßdaten und für seine fruchtbare Kritik bei der Ausarbeitung des Themas.

Bei meinen Probanden, die alle unentgeltlich an den Versuchen teilnahmen, bedanke ich mich für deren Geduld bei der Durchführung der Untersuchung.

Der Firma Biomagnetics danke ich für die Bereitstellung des Magnetfeldtherapiegerätes für die Zeitdauer der Versuche.

Lebenslauf

Geburtsdatum : 6. Dezember 1957

Geburtsort : Hof/Saale

Familienstand : verheiratet mit Manuela Knauer, geb.
Hartl

Eltern : Peter Knauer, Zahnarzt, verstorben am
31.10.1968
Inge Knauer, geborene Feulner

Schul Ausbildung : 1964 - 1968 Volksschule Schauenstein
1968 - 1975 Mathematisch-Naturwissen-
schaftliches Gymnasium Naila
1975 - 1977 Schiller-Gymnasium Hof/Saale
Juni 1977 Abitur

Wehrdienst : Juli 1977 - September 1978 in einer
Sanitätsstaffel der Luftwaffe

Studium : Immatrikulation an der Ludwig-
Maximilians Universität München im
Wintersemester 1979/80
Ärztliche Vorprüfung August 1981
I. Ärztliche Prüfung August 1982
II. Ärztliche Prüfung August 1984
III. Ärztliche Prüfung Oktober/Novem-
ber 1985
Approbation am 13. November 1985

Beruf : seit 1.1.1986 Assistenzarzt in der
chirurgischen Abteilung des Krankenhau-
ses Weilheim

